

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:  
AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA ENVASADORA DE PRODUCTOS  
PASTOSOS EN VASOS Y TARRINAS PARA LA EMPRESA ASTIMEC  
S.A. EN QUITO**

**AUTORA:  
SAMANTHA CAROLINA CORTEZ NAVARRETE**

**TUTOR:  
CARLOS GERMÁN PILLAJO ANGOS**

**Quito, agosto del 2019**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Samantha Carolina Cortez Navarrete, con documento de identificación N° 1725086803, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación: “AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA ENVASADORA DE PRODUCTOS PASTOSOS EN VASOS Y TARRINAS PARA LA EMPRESA ASTIMEC S.A. EN QUITO”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniera Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



---

Samantha Carolina Cortez Navarrete  
C.I. 1725086803

Quito, agosto del 2019.

## **DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA ENVASADORA DE PRODUCTOS PASTOSOS EN VASOS Y TARRINAS PARA LA EMPRESA ASTIMEC S.A. EN QUITO” realizado por Samantha Carolina Cortez Navarrete, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, agosto del 2019.



---

Carlos Germán Pillajo Angos

C.I: 1709255119

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mi familia, en especial, a mis padres Victoria y Roberto por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi vida, por saber guiarme dándome ejemplo de humildad y superación, por sus palabras de aliento para poder culminar mi carrera. A mis hermanos Stalin y Bryan por ser mi alegría y mi compañía.

A mis abuelitos Rosario y Luis quienes con su sabiduría me escucharon, aconsejaron y apoyaron sin importar las circunstancias, dándome palabras de aliento para seguir adelante y luchar por las metas que me he propuesto. A mis tías Jeanneth y Rosario por estar en todos los momentos de mi vida ya sean buenos o malos, por estar pendiente de mí.

A mis mejores amigos por el tiempo que me dan día a día, por ayudarme cuando los he necesitado, por enseñarme el significado de la amistad a la cual espero corresponder de la mejor manera.

**Samantha**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme salud y vida para poder cumplir esta meta que me propuse cuando entre a la universidad y es ser ingeniera.

A mis padres por la confianza que depositaron en mí, por su apoyo incondicional, en todo momento, para llegar a cumplir mi objetivo.

Al Ingeniero Gonzalo Garzón por permitirme realizar el Trabajo de Titulación en su Empresa depositando su confianza en mí, por brindarme sus conocimientos siendo aportes valiosos para el desarrollo del mismo.

**Samantha**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

|   |      |
|---|------|
| CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....                              | i    |
| DECLARACIÓN DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....               | ii   |
| DEDICATORIA.....  | iii  |
| AGRADECIMIENTO .....  | iv   |
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS .....  | x    |
| RESUMEN.....  | xi   |
| ABSTRACT .....  | xii  |
| INTRODUCCIÓN .....  | xiii |
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....                                       | 1    |
| <b>ANTECEDENTES</b> .....                                     | 1    |
| 1.1 Planteamiento del Problema .....                          | 1    |
| 1.2 Justificación .....                                       | 1    |
| 1.3 Objetivos.....  | 2    |
| 1.3.1 Objetivo General .....                                  | 2    |
| 1.3.2 Objetivos Específicos .....                             | 2    |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....                                       | 3    |
| <b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....                           | 3    |
| 2.1 Procesos Industriales .....                               | 3    |
| 2.2 Automatización Industrial .....                           | 3    |
| 2.3 Producción por lotes.....                                 | 4    |
| 2.4 Productividad .....                                       | 4    |
| 2.5 Curvas de fatiga .....                                    | 4    |
| 2.6 Controlador lógico programable (PLC) .....                | 6    |
| 2.7 Interfaz hombre máquina (HMI).....                        | 7    |
| 2.8 Tipos de HMI.....   | 7    |
| 2.9 Sistemas de dosificación.....                             | 8    |
| 2.10 Norma American Iron and Steel Institute (AISI) 304 ..... | 8    |
| 2.11 Normas de Higiene .....                                  | 9    |
| 2.12 Sistemas de Control.....                                 | 9    |
| 2.12.1 Sistema de Control en Lazo Cerrado.....                | 10   |
| 2.12.2 Sistemas de Control en Lazo Abierto .....              | 11   |
| 2.13 Protocolos de Comunicación Industrial.....               | 11   |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.13.1 Protocolo Profibus .....   | 11        |
| 2.13.2 Protocolo Ethernet .....   | 12        |
| 2.13.3 Protocolo Modbus .....   | 13        |
| 2.14 Tipos de Máquinas Envasadoras .....                                      | 13        |
| 2.14.1 Máquina Llenadora y Selladora RFS - 900 .....                          | 13        |
| 2.14.2 Máquina Llenadora y Selladora ASA – LLSV- 1D .....                     | 15        |
| <b>CAPÍTULO 3 .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN .....</b>  | <b>17</b> |
| 3.1 Diseño de Hardware .....  | 17        |
| 3.1.1 Automatización de la máquina envasadora de productos pastosos.....      | 19        |
| 3.1.2 Diagrama de Instrumentación P&ID (Piping and Instruments Drawings) .... | 21        |
| 3.1.3 Diagrama de Fuerza.....   | 22        |
| 3.1.4 Diseño del Tablero de Control .....                                     | 23        |
| 3.1.5 Datos Técnicos del Motor Trifásico .....                                | 23        |
| 3.1.6 Selección de Breakers Termomagnético .....                              | 24        |
| 3.1.7 Contactor Compacto.....   | 25        |
| 3.1.8 Selección del Variador de frecuencia .....                              | 25        |
| 3.1.9 Fuente de Alimentación 24V .....  | 27        |
| 3.1.10 Controlador Lógico Programable .....                                   | 27        |
| 3.1.11 Sensores .....   | 28        |
| 3.1.12 Pantalla Weintek 7’’ .....   | 30        |
| 3.1.13 Relé de estado sólido .....  | 30        |
| 3.1.14 Control de Temperatura.....  | 31        |
| 3.2 Diseño del Software .....   | 33        |
| 3.2.1 Interfaz PLC –HMI .....   | 34        |
| 3.2.2 Interfaz HMI - Controlador de Temperatura .....                         | 41        |
| 3.2.3 Diagrama de flujo del controlador lógico programable .....              | 44        |
| 3.3.2 Diagrama de flujo del HMI.....  | 46        |
| <b>CAPÍTULO 4 .....</b>   | <b>47</b> |
| <b>PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>  | <b>47</b> |
| 4.1 Producción .....  | 47        |
| 4.2 Envase 200 gramos .....   | 47        |
| 4.3 Envase 400 gramos .....   | 48        |
| 4.4 Envase 240 gramos .....   | 49        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.5 Análisis de resultados de producción ..... | 49        |
| <b>CAPÍTULO 5 .....</b>                        | <b>52</b> |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>     | <b>52</b> |
| 5.1 Conclusiones .....                         | 52        |
| 5.2 Recomendaciones.....                       | 53        |
| <b>ANEXOS</b>                                  |           |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 2. 1 Rendimiento Humano .....   | 5  |
| Figura 2. 2 Curva de la fatiga con respecto al tiempo .....                        | 5  |
| Figura 2. 3 Curva de actividad del ser humano .....                                | 5  |
| Figura 2. 4 Esquema general de un sistema de control.....                          | 9  |
| Figura 2. 5 Elementos básicos de un sistema de control.....                        | 10 |
| Figura 2. 6 Comparación del modelo OSI y TCP/IP .....                              | 12 |
| Figura 2.7 Máquina Llenadora y Selladora RFS – 900 .....                           | 14 |
| Figura 2.8 Máquina Llenadora y Selladora ASA-LLSV-1D. ....                         | 15 |
|  |    |
| Figura 3. 1 Sistema de control de la máquina envasadora .....                      | 17 |
| Figura 3. 2 Partes de la máquina envasadora .....                                  | 18 |
| Figura 3. 3 Diagrama de bloques de la máquina envasadora. ....                     | 19 |
| Figura 3. 4 Diagrama de Instrumentación.....                                       | 21 |
| Figura 3. 5 Diagrama de Fuerza .....   | 22 |
| Figura 3. 6 Conexión de elementos de la máquina envasadora.....                    | 33 |
| Figura 3. 7 Diagrama de Bloques .....  | 33 |
| Figura 3. 8 Selección de CPU en el software TIA PORTAL V15 .....                   | 34 |
| Figura 3. 9 Configuración del protocolo IP.....                                    | 35 |
| Figura 3. 10 Habilitar comunicación con HMI .....                                  | 35 |
| Figura 3. 11 Configuración de la IP del HMI.....                                   | 36 |
| Figura 3. 12 Añadir el PLC en el HMI .....   | 37 |
| Figura 3. 13 Selección del PLC .....   | 37 |
| Figura 3. 14 Configuración del puerto del PLC en el HMI .....                      | 37 |
| Figura 3. 15 Exportar variables del PLC.....                                       | 38 |
| Figura 3. 16 Exportar variables del bloque de datos.....                           | 39 |
| Figura 3. 17 Importar variables del PLC en el HMI .....                            | 39 |
| Figura 3. 18 Importar tabla de variables remanentes y no remanentes.....           | 40 |
| Figura 3. 19 Selección de variables remanentes y no remanentes.....                | 40 |
| Figura 3. 20 Selección del protocolo .....   | 42 |
| Figura 3. 21 Configuración del puerto del HMI para comunicación RS-485 .....       | 42 |
| Figura 3. 22 Visualización de valores de la Temperatura en el HMI .....            | 43 |
| Figura 3. 23 Configuración de las direcciones de las variables de temperatura..... | 44 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3. 24 Diagrama de flujo del PLC ..... | 44 |
| Figura 3. 25 Diagrama de flujo del HMI.....  | 46 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 2. 1 Versiones Profibus con sus características principales .....        | 11 |
| Tabla 2. 2 Datos técnicos máquina RFS -900 .....                               | 14 |
| Tabla 2. 3 Máquina Llenadora y Selladora ASA-LLSV-1D.....                      | 16 |
|  |    |
| Tabla 3. 1 Datos técnicos del motor trifásico .....                            | 24 |
| Tabla 3. 2 Datos técnicos del contactor compacto .....                         | 25 |
| Tabla 3. 3 Datos técnicos del variador de frecuencia .....                     | 26 |
| Tabla 3. 4 Parámetros configurados en el variador de frecuencia.....           | 26 |
| Tabla 3. 5 Datos técnicos de la fuente de alimentación .....                   | 27 |
| Tabla 3. 6 Datos técnicos del PLC S7-1200, CPU 1214C DC/DC/DC .....            | 28 |
| Tabla 3. 7 Datos técnicos del sensor inductivo UP-12RD-4PP .....               | 29 |
| Tabla 3. 8 Datos técnicos del sensor PR-R300PP .....                           | 29 |
| Tabla 3. 9 Datos técnicos de la pantalla MT8071IE.....                         | 30 |
| Tabla 3. 10 Datos técnicos del relé de estado sólido HSR-2D202Z.....           | 30 |
| Tabla 3. 11 Datos técnicos del controlador de temperatura DBT-4848 .....       | 31 |
| Tabla 3. 12 Parámetros configurados en el controlador de temperatura DBT-4848. | 32 |
| Tabla 3. 13 Datos configurados en el controlador de temperatura DBT-4848 ..... | 32 |
| Tabla 3. 14 Direcciones de las variables del control de temperatura .....      | 41 |
|  |    |
| Tabla 4. 1 Datos de producción manual durante un mes .....                     | 47 |
| Tabla 4. 2 Datos de producción automática durante un mes .....                 | 48 |
| Tabla 4. 3 Datos de producción manual durante un mes .....                     | 48 |
| Tabla 4. 4 Datos de producción automática durante un mes .....                 | 48 |
| Tabla 4. 5 Datos de producción automática durante un mes .....                 | 49 |
| Tabla 4. 6 Errores porcentuales del envase de 200 gramos del lote 1 .....      | 49 |
| Tabla 4. 7 Errores porcentuales del envase de 200 gramos del lote 2 .....      | 50 |
| Tabla 4. 8 Errores porcentuales del envase de 200 gramos del lote 3 .....      | 50 |
| Tabla 4. 9 Errores porcentuales del envase de 400 gramos del lote 1 .....      | 50 |
| Tabla 4. 10 Errores porcentuales del envase de 400 gramos del lote 2 .....     | 50 |
| Tabla 4. 11 Errores porcentuales del envase de 400 gramos del lote 3 .....     | 51 |
| Tabla 4. 12 Errores promedio del envase de 200 gramos .....                    | 51 |
| Tabla 4. 13 Errores promedio del envase de 400 gramos .....                    | 51 |

## **RESUMEN**

La Empresa Astimec S.A. dedicada al diseño y construcción de maquinaria para la industria alimenticia brindando soluciones en procesos industriales con fabricación local de alta calidad. Actualmente, tiene una máquina semiautomática para el llenado y otra para sellado de productos pastosos, las cuales funcionan de manera independiente; por ende los tiempos de producción actuales no satisfacen la demanda teniendo en cuenta que se requiere de un operador permanente tanto para el llenado como para el sellado.

El factor humano provoca que los tiempos de producción aumenten, además de la intervención en la manipulación de alimentos, con todo lo que eso conlleva, como puede ser durante el envasado del producto o durante el sellado del envase, lo cual puede provocar contaminación al producto debido a que se lo realiza de manera manual.

El objetivo principal de este proyecto técnico es realizar la automatización de una máquina envasadora de productos pastosos, desde la selección e implementación de la instrumentación en base a las normas de la industria alimentaria debido a que solo se cuenta con la estructura mecánica; además se diseñó e implementó un sistema electrónico para el control y monitoreo, el mismo que se encuentra encargado del accionamiento del motor y de todas las estaciones que componen la máquina envasadora; además de la visualización en la pantalla principal del número de envases llenados, del número de envases por minuto que se están realizando, de los parámetros de temperatura, de las alarmas de la máquina tales como baja de presión, paro de emergencia o falta de envases.

## **ABSTRACT**

The company Astimec S.A dedicated to the design and construction of machinery for the food industry providing solutions in industrial processes with local manufacturing of high quality. Currently has a semiautomatic machine for the supply and sealing of pasty products, the time of independent way the time of production.

The human factor causes that the times of production increase, besides the intervention in the manipulation of the foods, everything what happen, as it can be during the process of product or during the sealing of the container, what can cause the contamination to the product because it is done in the manual way.

The main objective of this technical project is to carry out the automation of a packaging machine of pasty products, from the selection and implementation of instrumentation based on food industry standards because you only have the mechanical structure, In addition, an electronic system was designed and implemented for the control and monitoring of the same as that which is responsible for the drive of the engine and all the stations that make up the packaging machine, in addition to the display on the main screen of the number of packages filled, the number of packs per minute being performed, temperature parameters, machine alarms such as low pressure, emergency stop or lack of packaging.

## **INTRODUCCIÓN**

La Empresa Astimec S.A. se encuentra en el mercado nacional más de 29 años, su negocio está enfocado en el diseño y construcción de maquinaria con fabricación local de alta calidad, en especial, para la industria alimentaria.

El presente proyecto de titulación denominado “AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA ENVASADORA DE PRODUCTOS PASTOSOS EN VASOS Y TARRINAS PARA LA EMPRESA ASTIMEC S.A EN QUITO”, está desarrollado en cuatro capítulos, los cuales son descritos a continuación:

En el primer capítulo se describe tanto el planteamiento como la justificación del problema, los objetivos del proyecto que son de dos tipos: el objetivo general y los objetivos específicos.

En el segundo capítulo se encuentra la fundamentación teórica de los elementos que intervienen en el proceso; además de los sistemas de control que se utilizan para la realización del envasado de productos pastosos.

En el tercer capítulo se realiza la instrumentación de los elementos que se encuentran involucrados en el proceso tanto en el tablero de control como en la planta, además de la pantalla para visualización de parámetros. Utilizando para el control un PLC, un controlador de temperatura para la estación de sellado y para monitoreo un HMI.

En el cuarto capítulo se realizó una comparación de tres lotes de producción tanto para el proceso actual, el cual es de manera manual, versus el sistema propuesto que es de manera automática, en donde se muestra los datos obtenidos para encontrar el porcentaje de error y según las pruebas de funcionamiento se demuestra que la máquina envasadora cumple con los requerimientos de la Empresa Astimec S.A.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

Al existir una rápida expansión del mercado mundial, esta obliga a las empresas a optimizar sus procesos, automatizando sus plantas para de esta manera generar una producción en masa disminuyendo los tiempos de producción y así tener una mayor participación en el mercado, además de aumentar su competitividad.

La Empresa Astimec S.A. ubicada en Quito en el sector de Cotacollao, se dedica al diseño y construcción de maquinaria para la industria alimentaria brindando soluciones en procesos industriales con fabricación local de alta calidad. Tiene la estructura de la máquina envasadora de productos pastosos de llenado y sellado de envases para tres diferentes presentaciones; pero el proceso que tiene está incompleto, debido a que no cuenta con un diseño de un sistema electrónico, en el cual se encuentre parametrizado los elementos que necesita la máquina, optimizando los recursos.

Actualmente tiene una máquina semiautomática para el llenado y sellado de productos pastosos. Los tiempos de producción actuales no satisfacen la demanda teniendo en cuenta que se requiere de un operador permanente para el llenado y funcionamiento del equipo, lo cual es un grave problema debido a la intervención humana en la manipulación de alimentos, con todo lo que eso conlleva, como puede ser durante el llenado del producto o durante el sellado del envase, lo cual puede provocar contaminación al producto.

### **1.2 Justificación**

Al tener una máquina semiautomática, esta no satisface la demanda de producción debido a que los tiempos de ejecución son altos; por lo tanto, un sistema automático, llevaría a cabo el llenado y sellado con alta precisión, disminuyendo los tiempos en la realización del producto y reduciendo costos, lo cual beneficia a la empresa.

En el informe sobre el diseño y optimización de plantas de biodiesel llave en mano a partir de aceites usados, de la Universidad de Córdoba realizado por García A. y

Arjona F. en el año 2015, explica que la automatización de la planta persigue el control del proceso industrial que brinda una variedad de beneficios; principalmente, se encuentran el incremento de la productividad, aumento de la calidad y precisión de los productos. (Garcia & Arjona, 2015)

La instrumentación industrial es el grupo de equipamientos y dispositivos los cuales sirven para medir, convertir, registrar variables de un proceso, se puede crear estructuras para el control conjuntamente con el monitoreo de todos los elementos que conforman un sistema industrial de manera profunda y exacta automatizando los procesos en donde se garantiza la repetibilidad de las medidas y resultados. (Omega Engineering inc, 2019)

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Desarrollar una máquina envasadora automática de productos de alta densidad para la reducción del tiempo de producción en el llenado y sellado de vasos y tarrinas.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar las variables que intervienen en el proceso de llenado y sellado para la selección de la instrumentación de la máquina.
- Diseñar un sistema electrónico para el control de la máquina envasadora en el llenado y sellado de productos de alta densidad.
- Implementar un sistema electrónico para el control del llenado y sellado.
- Realizar las pruebas de operación para la verificación del funcionamiento de la máquina.
- Realizar el manual técnico y de operación para el mantenimiento de la máquina



## **CAPÍTULO 2**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

#### **2.1 Procesos Industriales**

Un proceso es un conjunto de pasos sucesivos organizados que suceden ya sea de forma simultánea o alternativa, los cuales están relacionados entre sí en donde el único propósito es conseguir un resultado preciso, por lo cual un proceso industrial es un conjunto de operaciones que están diseñadas para la obtención, transformación o transporte de uno o varios productos primarios.

El propósito de un proceso industrial se basa en aprovechar de una manera eficaz los recursos naturales para que de esta forma se transformen en materiales, herramientas y sustancias los cuales son capaces de mejorar la calidad de vida satisfaciendo las necesidades de los seres humanos. (Salazar, 2016)

#### **2.2 Automatización Industrial**

La automatización es una parte de la ingeniería que permite realizar procesos con alta precisión mediante el uso de dispositivos electrónicos de control para la optimización de procesos. La optimización de procesos tiene como objetivo reducir costos, tiempo y elevar la productividad de una planta indistintamente del campo de acción de la misma (Morales & Pachacama, 2018)

La automatización tiene las siguientes ventajas:

- Aumenta la producción
- Disminuye el costo del producto
- Mejora la calidad del producto
- Disminuye el proceso manual
- Ayuda en la producción

La automatización tiene las siguientes desventajas:

- Aumenta la energía por cada producto realizado
- Incrementan los costos de inversión
- Requiere mayor conocimiento de parte de los operarios (Paucar & Rojas, 2018)

### **2.3 Producción por lotes**

La producción por lotes es muy utilizada en la industria alimentaria. Son diferentes modelos del mismo producto los cuales tienen una demanda limitada, en donde cada uno de estos lotes sirve para un determinado volumen de venta el cual ha sido analizado en un período permitiendo una utilización regular y ordenada de la mano de obra, sin grandes picos de producción. (Baez G., 2015)

### **2.4 Productividad**

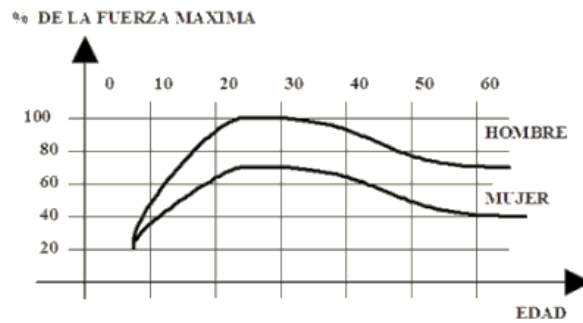
Es la capacidad de producción la cual se encuentra relacionada directamente proporcional con las ganancias, por lo cual al tener un aumento de productividad generará más ganancias para los dueños de las empresas, en donde se tiene en cuenta que el trabajo humano variará sin disminuir el costo de su trabajo; sin embargo, sí se consigue optimizar el proceso incorporando un control automático para así eliminar tiempos muertos, debido a que la demanda del producto se encuentra en constante crecimiento.

Para la empresa una mayor productividad resulta ser más rentable al utilizar los mismos recursos o producir los mismos bienes o servicios. La productividad tiene una relación tanto con la mejora continua como con los estándares de producción, creando un sistema que pueda prevenir los defectos de calidad del producto para de esta manera mejorar los estándares de calidad de la empresa sin que llegue al usuario final. (Cabezas. J., 2014)

### **2.5 Curvas de fatiga**

La fatiga es una pérdida de la capacidad de rendimiento. En la Figura 2.1 se representa el rendimiento humano el cual varía de acuerdo a la edad con respecto al porcentaje de fuerza máxima. (De la Cruz. C., 2016).

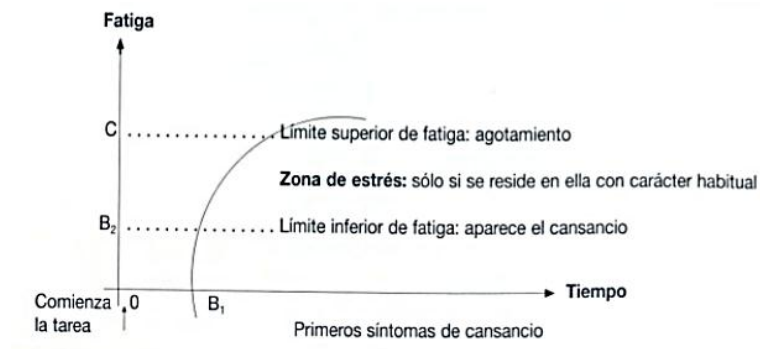
Figura 2. 1 Rendimiento Humano



Gráfica Porcentaje de fuerza máxima vs edad (De la Cruz. C., 2016)

La fatiga laboral se acrecienta con la duración de la actividad y el descanso hace desaparecer la fatiga con mayor fuerza al principio y después de forma cada vez más débil. (De la Cruz. C., 2016).

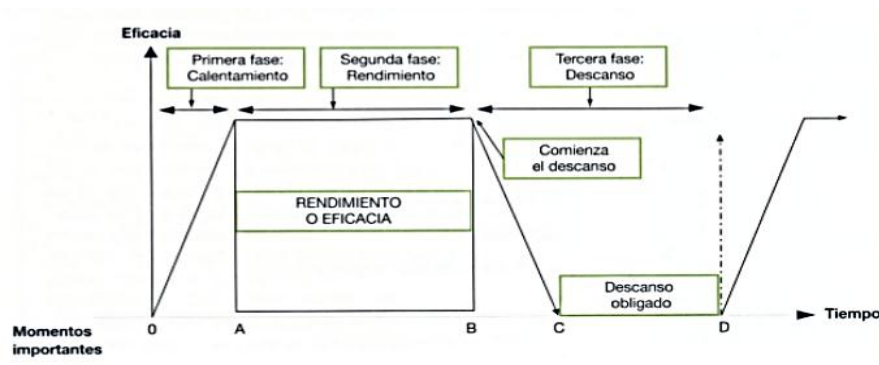
Figura 2. 2 Curva de la fatiga con respecto al tiempo



Gráfica fatiga vs tiempo (De la Cruz. C., 2016)

La curva de actividad se descompone en varias fases en función de la dificultad, duración y sobre todo de la persona que realiza la actividad. (De la Cruz. C., 2016).

Figura 2. 3 Curva de actividad del ser humano



Gráfica Eficacia vs tiempo (De la Cruz. C., 2016)

## 2.6 Controlador lógico programable (PLC)

El PLC es un dispositivo que puede ser programado y además controla todas las acciones que se ejecutan en tiempo real. Se encarga de la lectura de datos. Por ejemplo, los valores de la temperatura para realizar el control y la toma de acciones específicas. (Quiroga & Albán, 2018)

Según su modularidad, los controladores lógicos programables se clasifican en tres tipos: compactos, semicompactos y modulares.

- **Compactos:** Son aquellos que contienen todos sus elementos, Entradas / Salidas (E/S), Central Process Unit (CPU), fuente de alimentación, entre otras, en una misma envolvente. La mayoría de estos modelos son ampliables con diferentes tipos de módulos (entradas, salidas, de comunicación, especiales, etc.). Dentro de este grupo cabe destacar los que se han denominado relés programables para aplicaciones domésticas y gestión de pequeña maquinaria, en donde por medio de un panel se puede realizar la programación y parametrización. (Castillo & Garcia, 2016)
- **Semicompactos:** Son aquellos en donde no todos los elementos se encuentran en la envolvente principal, por ejemplo la fuente de alimentación puede o no estar en la misma. (Castillo & Garcia, 2016)
- **Modulares:** Son aquellos en donde cada elemento tiene su propia envolvente y se encuentran instalados en un rack común, además a comparación del tipo compacto y semicompacto tienen mayor posibilidad de expansión, pero su costo es mayor. (Castillo & Garcia, 2016)

## 2.7 Interfaz hombre máquina (HMI)

Es un sistema de visualización de datos los cuales son mostrados por medio de una pantalla a la cual accede el operador para el control de un proceso determinado. (Flores, 2016).

HMI es la interfaz entre el humano y la máquina que le permite al operador:

- **Monitorear:** Indica datos de la máquina en tiempo real y con un lenguaje fácil para la interpretación del operador.
- **Supervisar:** Por lo que junto al monitoreo permiten ajustar condiciones de trabajo.
- **Reconocer alarmas:** Advierte y reporta anomalías dentro del proceso.
- **Controlar:** Puede aplicar algoritmos y modificaciones para ajustar condiciones y valores en el proceso.
- **Registrar:** Almacena archivos, lleva un registro histórico de alarmas y eventos.

De esta manera permite al operador tomar decisiones oportunas y a tiempo, un HMI está conformado por un controlador que se dedica a la adquisición de datos enviados por los sensores y transmisores, al igual que el envío de datos hacia elementos de control. (Clavijo. P., 2015)

## 2.8 Tipos de HMI

Se clasifican en dos tipos dependiendo del dispositivo en el que se programe el HMI:

- **Panel de operador:** Son pantallas táctiles diseñadas para ubicarse en lugares de trabajo agresivo. Tienen su propio software de programación.
- **Software:** Se encuentran diseñadas por un software de programación y son instaladas en una computadora la cual es ubicada en el gabinete de control.

Según el Hardware se clasifican en cuatro tipos:

- **Push Button Panels:** Solamente se usan accionamientos e indicadores luminosos
- **Micro Paneles:** Se pueden visualizar datos numéricos en pequeñas pantallas LCD

- **Panel:** Son pantallas táctiles que permiten visualizar datos, gráficas e incluir botoneras.
- **Multi – Panel:** Sistemas con varias pantallas que permiten operar y monitorear diferentes procesos al mismo tiempo (Cofre & Pérez, 2018)

## 2.9 Sistemas de dosificación

El principio de una dosificación es controlar la cantidad de los productos agregados. Son dispositivos utilizados para regular el traslado del producto a las diferentes etapas de un proceso. Están compuestos por motores eléctricos, electroimanes, cilindros neumáticos y/o reguladores, existen dos tipos de dosificación:

- **Dosificación Volumétrica:** La variada gama de dosificadores volumétricos utilizan un método para medir la cantidad de producto de una manera precisa ya sea por medio de cintas transportadoras, tornillos sin fin tanto horizontales como verticales y otros dispositivos para conducir productos dentro de los empaques. (Ortiz & Zambrano, 2017).

Este tipo de dosificación se utiliza en empacadoras automáticas o semiautomáticas, las cuales son construidas en diferentes tamaños con un vaso de acero inoxidable regulable, en donde se recomienda más para productos pastosos. (Ortiz & Zambrano, 2017)

- **Dosificación por peso:** Se lo realiza por medio de una bandeja vibratoria la cual desplaza el producto evitando la rotura del producto. El pesado del producto se lo realiza de forma digital, en donde por medio del uso de una entrada analógica de un controlador se consigue tener alta precisión en el dosificado del producto. Es más utilizada para productos sólidos de formas irregulares. (Ortiz & Zambrano, 2017)

## 2.10 Norma American Iron and Steel Institute (AISI) 304

A esta norma pertenecen los aceros inoxidables Austeníticos. Estos son aleaciones de cromo-níquel, que contienen composición básica de 8% - 12% de níquel, con 18% de cromo, siendo esta la más extensa y comúnmente utilizada con éxito a nivel comercial ya que son más robustos con respecto a la corrosión y oxidación debido a

su resistencia mecánica que soporta temperaturas altas. Las principales características, en general, se deben a su estructura que le transfiere una gran ductilidad, conformabilidad, tenacidad, soldabilidad y excelente resistencia al impacto. (Chango. P., 2014)

### 2.11 Normas de Higiene

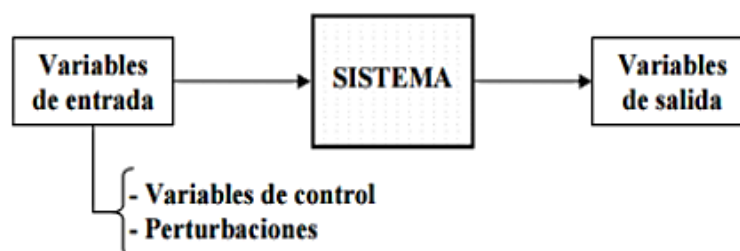
En la industria alimentaria se requieren normas de higiene por lo cual se tiene una lista de normas que intentan garantizar la seguridad e inocuidad de los alimentos durante todo el proceso de su producción. Las normativas que se destacan más en la industria alimentaria se encuentran en el portal EUR-Lex. (Papelmatic, 2018)

Estas normativas se deben tomar en cuenta no solo durante la producción y procesado de alimentos, sino también al llevar a cabo una correcta limpieza y desinfección en la industria alimentaria. (Papelmatic, 2018)

### 2.12 Sistemas de Control

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos los cuales se encargan de un correcto funcionamiento de la máquina permitiendo influir en el funcionamiento del sistema. Existen dos tipos de sistemas de control: lazo cerrado y lazo abierto. (Gutiérrez & Iturralde, 2017)

Figura 2. 4 Esquema general de un sistema de control



Esquema general de un sistema de control. (Gutiérrez & Iturralde, 2017)

El propósito de tener un sistema de control es poder manipular las variables de control para obtener un dominio sobre las variables de salida de tal forma que estas alcancen valores antes fijados, en donde por medio de los siguientes parámetros debe ser capaz de llegar a su objetivo:

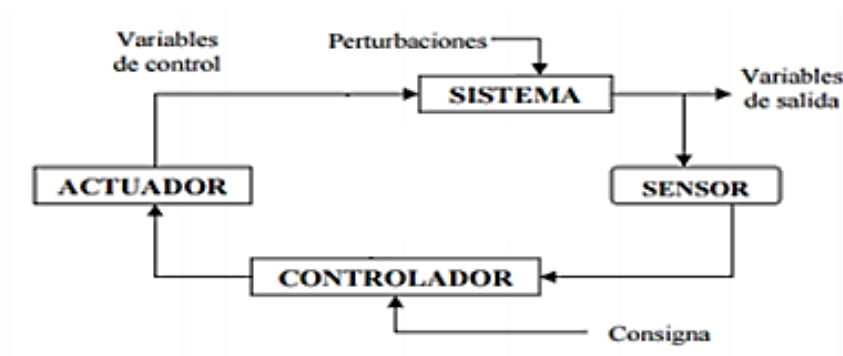
- Ser estable y robusto frente a las perturbaciones

- Ser eficiente
- Tener un ordenador que sea fácil de operar en tiempo real

Los elementos básicos de un sistema de control se muestran en la Figura 2.5 y se detallan a continuación:

- **Sensor:** Por medio de este se conocen los valores de las variables del sistema.
- **Controlador:** Mediante los datos obtenidos de los sensores se ejecuta la acción modificada por las variables de control.
- **Actuador:** Es el mecanismo encargado de realizar la operación en función del controlador.

Figura 2. 5 Elementos básicos de un sistema de control



Elementos básicos de un sistema de control. (Gutiérrez & Iturralde, 2017)

### 2.12.1 Sistema de Control en Lazo Cerrado

Los sistemas de control de lazo cerrado son en donde la señal de salida influye en la señal de entrada, es más complejo debido a que recibe información en la retroalimentación, sobre los cambios que toma la variable de entrada (Gutiérrez & Iturralde, 2017).

Los controladores PID son muy usados en la industria. Estos consisten en un conjunto de acciones de control proporcional, integral y derivativo, también son conocidos como controladores convencionales, en donde el diseño del mismo es crítico para obtener sus constantes y por ende su función de transferencia ya que cada parámetro cumple una función determinada en la estabilización del sistema. (Caiza, Saeteros, Pillajo, & Arévalo, 2018)



### 2.12.2 Sistemas de Control en Lazo Abierto

Los sistemas de control de lazo abierto son en donde la variable de salida del sistema no causa ningún efecto en la señal de entrada. Tienen una ventaja al ser sistemas muy simples, debido a ello su costo es bajo y en general su confiabilidad es buena, pero suelen ser imprecisos ya que no existe retroalimentación de las variables. (Paucar & Rojas, 2018).

### 2.13 Protocolos de Comunicación Industrial

Existen varios protocolos de comunicación usados en la industria, los principales se detallarán a continuación:

#### 2.13.1 Protocolo Profibus

Profibus es un protocolo de comunicación industrial, es un bus de campo abierto que puede implementarse en diversas áreas como pueden ser fabricación, proceso y automatización. Cuenta con una red de comunicaciones maestro - esclavo(s), proporciona un gran nivel de confianza al usuario, además es flexible debido a que se pueden comunicar entre equipos de diferentes fabricantes. (Diaz & Vizcaíno, 2016)

Existen tres versiones de Profibus:

- **Profibus Periferia descentralizada (DP):** Conexión de equipos de campo sensores, actuadores, PLC's o terminales.
- **Profibus Automatización de procesos (PA):** Conexión de equipos sobre los autómatas para control de proceso, teniendo datos y alimentación por cable, además de cumplir con normas de seguridad.
- **Profibus Fielbus Message Specification (FMS):** Para comunicación orientada a objetos, además de interconexión entre PLC's a nivel de célula.

En la Tabla 2.1 se muestran las características de cada versión de profibus:

Tabla 2. 1 Versiones Profibus con sus características principales

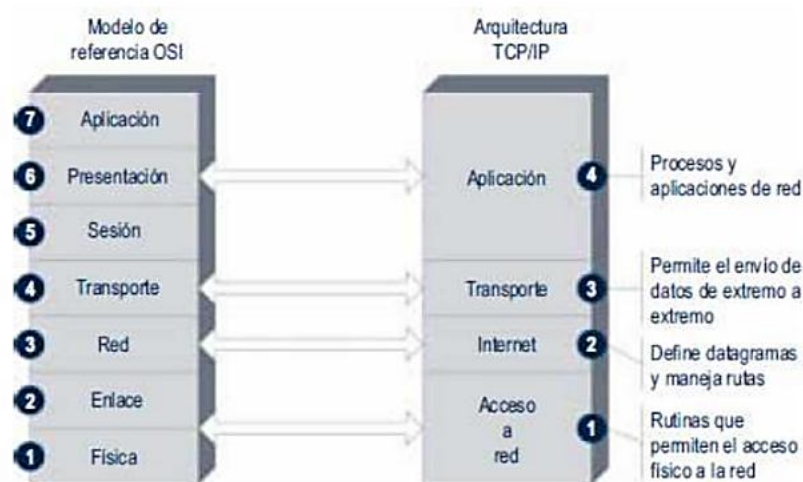
|                                 | PROFIBUS - FMS                    | PROFIBUS - DP                                     | PROFIBUS - PA  |
|---------------------------------|-----------------------------------|---|--|
| <b>Aplicación</b>               | Nivel de campo y proceso          | Nivel de Entradas y Salidas                       | Nivel de Entradas y Salidas                              |
| <b>Dispositivos conectables</b> | PLC, PG/PC, Dispositivos de campo | PLC, PG/PC, Dispositivos de campo, accionamientos | Dispositivos de campo para áreas con riesgo de explosión |
| <b>Tiempo Respuesta</b>         | Menor a 60 ms                     | Entre 1 y 5 ms                                    | Menor a 60 ms  |
| <b>Velocidad</b>                | 9.6kbit/s – 12Mbit/s              | 9.6kbit/s – 12Mbit/s                              | 31.25 kbit/s   |

Versiones Profibus (Díaz & Vizcaíno, 2016)

### 2.13.2 Protocolo Ethernet

Consta de un juego de protocolos como se muestra en la Figura 2.6, el modelo Transmission Control Protocol/Internet Protocol (TCP/IP) es la base de las redes a nivel mundial, en donde si un dispositivo de red industrial desea conectarse con otro dispositivo en otra red por medio de Ethernet, primero se encapsulan los datos con los estándares que maneja el protocolo TCP/IP, primordialmente se utilizan las direcciones IP. (Díaz & Vizcaíno, 2016)

Figura 2. 6 Comparación del modelo OSI y TCP/IP



Comparación del modelo OSI y TCP/IP (Matango F., 2016)

La primera red con alta velocidad implantada fue *ethernet*, teniendo como ventaja su costo, fácil manejo a comparación de otras tecnologías, al mismo tiempo, se contaba

con versiones que operaban a diferentes velocidades, estas podían ser iguales o mayores. (Díaz & Vizcaíno, 2016)

### **2.13.3 Protocolo Modbus**

Es un protocolo basado en la arquitectura maestro – esclavo el cual se produce en pares, para iniciar la comunicación el esclavo debe iniciar una solicitud y esperar una respuesta, el maestro es el quien comienza la comunicación por ende es el responsable de que cada iteración. (National Instruments, 2019)

Es un protocolo de transmisión para sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) con control centralizado, la configuración de las interfaces de la capa física puede ser: RS-232, RS-422 y RS-485, además existen tres modos de transmisión en que los datos pueden intercambiarse: Modo RTU, Modo ASCII y Modo TCP / IP.

## **2.14 Tipos de Máquinas Envasadoras**

Actualmente, en las industrias existen varios tipos de máquinas envasadoras de productos de alta viscosidad, los cuales tienen varias similitudes en el funcionamiento, también son conocidas como máquinas llenadoras y selladoras automáticas en donde por lo general son diseñadas para envasar una sola forma de envase ya sea esta redonda, cuadrada, entre otras, con diferentes cantidades que son ajustables por medio de la pantalla HMI.

### **2.14.1 Máquina Llenadora y Selladora RFS - 900**

La máquina fue desarrollada y fabricada en Estados Unidos, trabaja en base a un movimiento de rotación intermitente, se encuentra revestida de acero inoxidable de grado 316 o 304, cuenta con un sistema de sensores electrónicos en cada estación, los cuales permiten realizar el monitoreo de parámetros, además se requiere dos operadores para el funcionamiento de la máquina. En la Figura 2.7 se observa la máquina con sus cinco estaciones:

- Alimentador de vasos
- Sensor de presencia
- Dosificador volumétrico

- Alimentador de foil de aluminio
- Sellado de foil de aluminio

Figura 2.7 Máquina Llenadora y Selladora RFS – 900



Máquina Llenadora y Selladora RFS – 900. Fuente: <http://helionex.com/es.html>

Tabla 2. 2 Datos técnicos máquina RFS -900

| TIPO                    | DESCRIPCIÓN        |
|-------------------------|--------------------|
| Potencia                | 1.3KW              |
| Voltaje                 | 208 / 230 Vac      |
| Frecuencia              | 50 – 60 Hz         |
| Presión del Aire        | Mayor a 80 PSI     |
| Medidas                 | 94 x 69 x 97 cm    |
| Capacidad de Dosificado | Entre 30 a 250 ml  |
| Rendimiento             | 900 vasos por hora |
| Peso                    | 450 Kg             |
| Envase                  | Estándar           |

Datos técnicos máquina RFS -900. Fuente: <http://helionex.com/es.html>

#### 2.14.2 Máquina Llenadora y Selladora ASA - LLSV- 1D

La máquina fue diseñada y fabricada en la Empresa ASTIMEC S.A. Las estructuras del equipo son construidas de acero inoxidable AISI 304, el plato giratorio, las placas de apoyo son de aluminio anodizado, cuenta con dos sensores, pulsadores de start, stop, paro de emergencia, switch de arranque y un switch de presión, incluye una pantalla de visualización de parámetros para cada envase. En la Figura 2.2 se observa la máquina con sus siete estaciones.



Figura 2.8 Máquina Llenadora y Selladora ASA-LLSV-1D.

Máquina Llenadora y Selladora ASA-LLSV-1D. Fuente: Empresa Astimec S.A.

El plato es de velocidad fija accionado mecánicamente por medio de la cruz de malta para rotación segmentada, de tal forma que se detenga en cada una de las siguientes estaciones:

- Alimentador de vasos o tarrinas
- Sensor de presencia de envase
- Dosificador volumétrico con boquilla de llenado
- Alimentador de foil de aluminio
- Sellado de foil de aluminio por temperatura constante
- Alimentador de tapas plásticas
- Presionador de tapas plásticas
- Expulsor automático de vasos o tarrinas

Tabla 2. 3 Máquina Llenadora y Selladora ASA-LLSV-1D

| <b>PARÁMETROS</b>       | <b>VALOR</b>                |
|-------------------------|-----------------------------|
| Potencia                | 2.2 KW                      |
| Voltaje                 | 220 Vac                     |
| Frecuencia              | 60 Hz                       |
| Presión del Aire        | Mayor a 90 PSI              |
| Medidas                 | 90 x 80 x 170 cm            |
| Capacidad de Dosificado | Ajustable                   |
| Rendimiento             | 30 vasos por minuto (200ml) |
| Envase                  | 200 , 240 y 400 ml          |

Máquina Llenadora y Selladora ASA-LLSV-1D. Fuente: Empresa Astimec S.A.

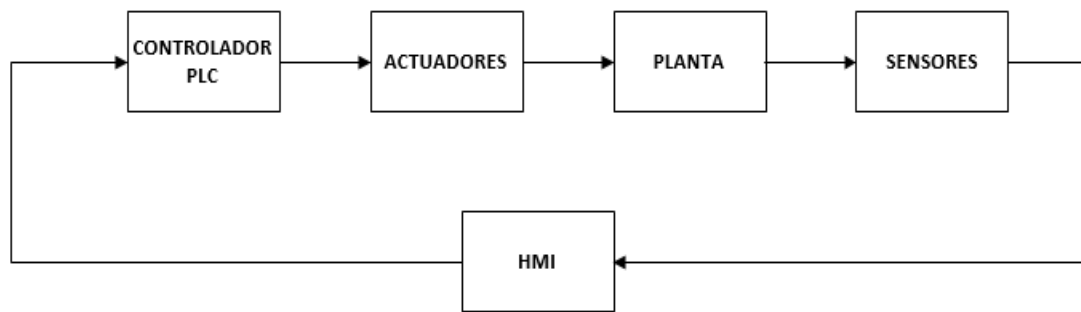
## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

#### **3.1 Diseño de Hardware**

En el capítulo de diseño e implementación de la máquina envasadora, primeramente, se diseña el hardware, es decir los elementos instrumentados y las etapas que se realizan en un sistema de envasado de productos pastosos en tres tipos de envases: desde el diseño del tablero de control, un sistema electrónico para el control de la máquina envasadora. En la Figura 3.1 se muestra el sistema de control en lazo cerrado.

Figura 3. 1 Sistema de control de la máquina envasadora



Sistema de control de la máquina envasadora. Elaborado por: Cortez Samantha

En la Figura 3.2 se observa la planta identificando cada una de sus partes, que son:

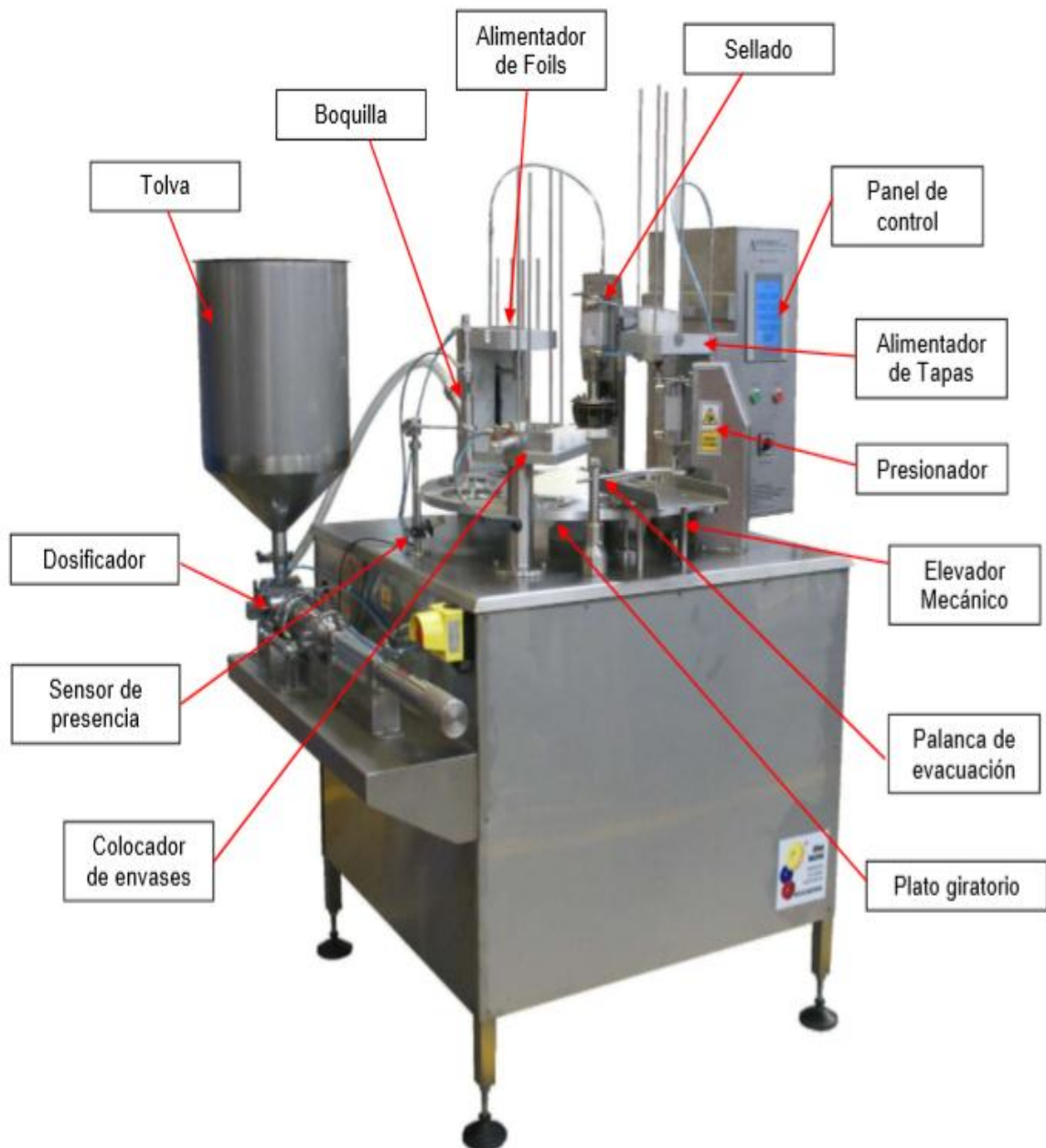
- Alimentación de vasos o tarrinas
- Dosificado del producto
- Alimentación de foil de aluminio
- Sellado de foil de aluminio
- Alimentación de tapas
- Presionador de tapas
- Expulsor del producto

Se cuenta con dos generados de vacío ubicadas en las estaciones de alimentación de foil de aluminio como en la de alimentación de tapas, respectivamente, las cuales son utilizadas para realizar la succión de un solo elemento.

El plato giratorio tiene ocho cavidades uno para cada estación, en donde se tiene seis estaciones neumáticas, una estación para sensar el envase y una estación mecánica.

Figura 3. 2 Partes de la máquina envasadora





Partes de la máquina envasadora. Elaborado por: Cortez Samantha

### 3.1.1 Automatización de la máquina envasadora de productos pastosos

En la Figura 3.3 se muestran las diferentes etapas del proceso, en donde el funcionamiento de la máquina envasadora se encuentra sintetizado en el diagrama de bloques.

Figura 3. 3 Diagrama de bloques de la máquina envasadora.

#### PROCESO

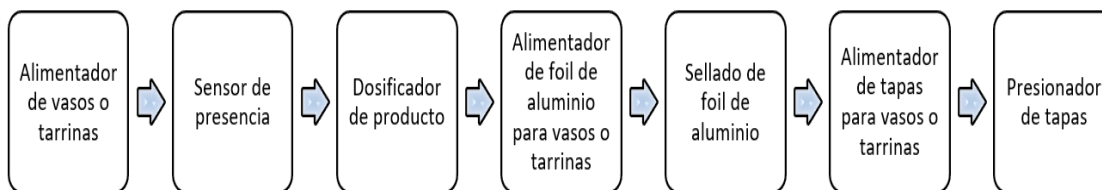


Diagrama de bloques de la máquina envasadora. Elaborado por: Cortez Samantha

Primero se carga los parámetros del respectivo envase (200gr, 240gr y 400gr), se debe considerar que la temperatura del *set point*, la cual debe ser igual a la variable del proceso quien es la que muestra la temperatura a la que se encuentra en ese momento, esta se observa en la pantalla.

Antes de dar inicio en la pantalla se muestran alarmas tales como: paro de emergencia, presión baja o falta de envases, sino se soluciona cualquiera de las tres alarmas la máquina no podrá operar, se tiene el paro de emergencia que funciona como interruptor para prevenir daños de la máquina, también se tiene la presión baja ya que al trabajar con tiempos es importante tener una presión constante, esta debe ser mayor a cuatro bares para que los pistones recorran toda su carrera; por ello la presión estará entre siete u ocho bares ya que al momento que se encuentran activadas todas las electroválvulas consumen aproximadamente dos bares, entonces cuando la presión es menor a cuatro bares el switch de presión envía una alarma y por último es la falta de envases que es cuando la máquina no detecta envase en una vuelta, es decir, ocho veces esta se detiene para no gastar energía.

Para dar inicio se pulsa el botón de *start* ubicado en el gabinete de control. El motor se mantiene con una velocidad que es definida en el variador; por medio de la cruz de malta, el plato giratorio se detiene en cada estación sin parar el motor, cada giro que realice el plato será detectado por el sensor inductivo quien será el que dé la activación a todas las electroválvulas de la máquina con tiempo de retardo y tiempo de acción, siendo este el sensor principal del sistema ya que a partir de este se realizan todas las actividades.

Al mismo tiempo, cuenta con un sensor de presencia, el cual es el sensor secundario que da la activación para las estaciones. Este también cuenta con un tiempo de acción

debido a que al estar en movimiento el plato puede emitir una señal falsa generando desperdicios de producto, por ello se restringió a tomar en cuenta solo las señales que se encuentren en el tiempo de acción, en donde si no detecta no realizará la activación de cada estación.

### 3.1.2 Diagrama de Instrumentación P&ID (Piping and Instruments Drawings)

El diagrama de instrumentación de la planta se observa en la Figura 3.4.

Figura 3. 4 Diagrama de Instrumentación

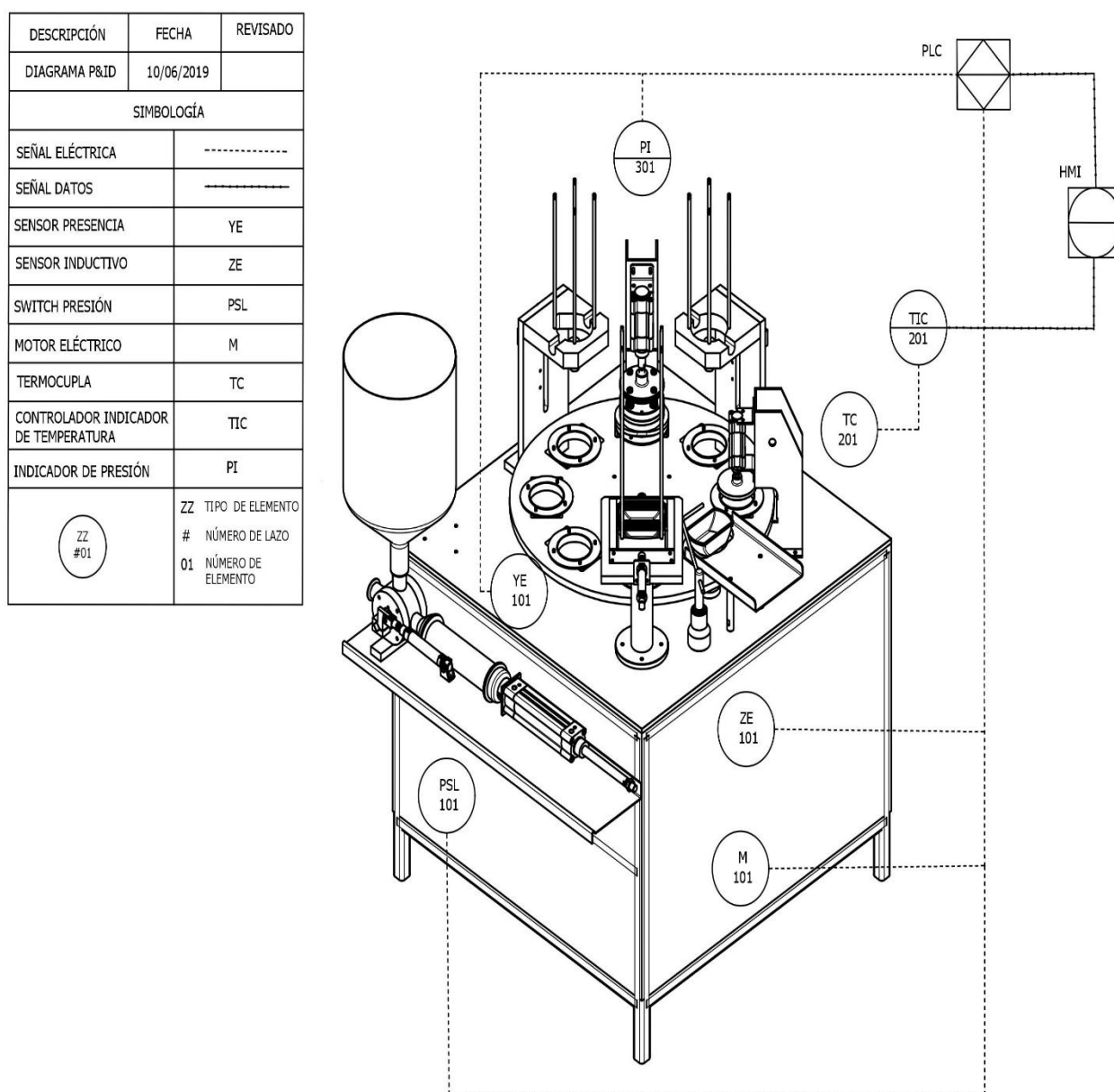


Diagrama de Instrumentación. Elaborado por: Cortez Samantha

### 3.1.3 Diagrama de Fuerza

En la Figura 3.5 se observa el diagrama de fuerza de la planta, el cual consta de tres breakers térmicos para control, fuerza y temperatura. En la parte de control se tiene la fuente de 24Vdc que alimenta al PLC, además a los sensores y actuadores conectados al mismo, para la parte de fuerza se tiene un contactor activando al variador de frecuencia quien sirve de protección del motor, por último, en la sección de temperatura se encuentra un relé de estado sólido, en donde a la entrada está conectada la resistencia del sellado de lámina de aluminio y en la carga se encuentra el control de temperatura, en donde se encuentra la Termocupla tipo J.

Figura 3. 5 Diagrama de Fuerza

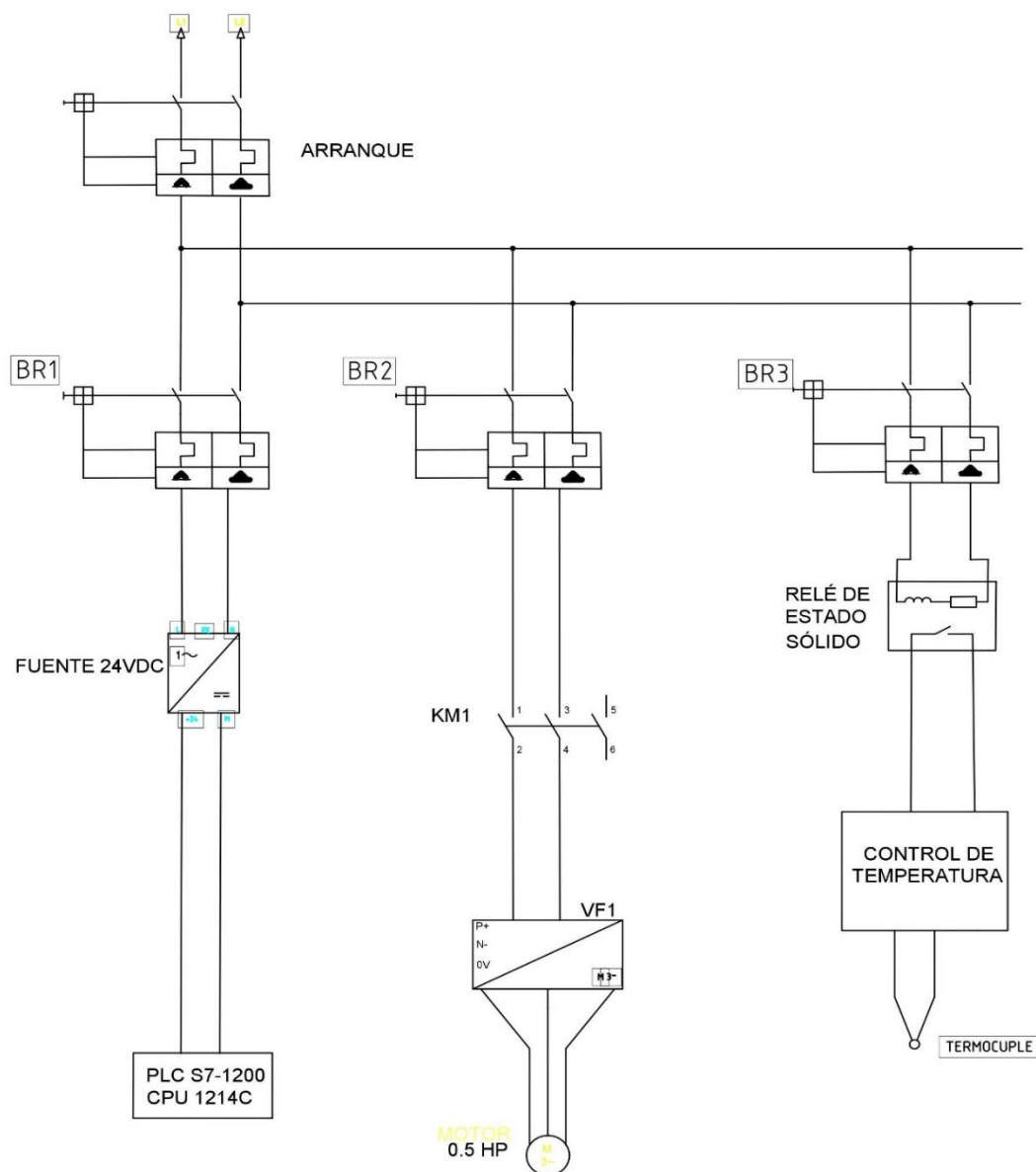


Diagrama de Fuerza. Elaborado por: Cortez Samantha

### **3.1.4 Diseño del Tablero de Control**

El diseño del tablero de control cuenta con la siguiente distribución de los elementos:

- 3 Breakers (4A, 6A y 10 A)
- Contactor de 9A
- Fuente 24Vdc
- PLC
- Relé de estado solido
- Variador de Frecuencia
- Controlador de Temperatura
- Borneras de 2.5 mm y 6mm

En donde se distribuyó en tres filas, en la primera se encuentran las protecciones; es decir, los Breaker termomagnético, el contactor y la fuente de 24V, en la segunda fila se encuentran el controlador lógico programable, el relé de estado sólido, el variador de frecuencia y en la tercera fila se encuentran el controlador de temperatura, las borneras que enlazan la planta con el tablero y la bornera para tierra.

Para que funcione la máquina se debe tener en cuenta que es necesario realizar un acople de tierras y neutros en cada parte mencionada anteriormente.

### **3.1.5 Datos Técnicos del Motor Trifásico**

El motor trifásico, al iniciar el proceso de envasado siempre se encontrará girando a una velocidad constante en donde por medio de un acople mecánico se realiza la transmisión del reductor el cual pasa a una leva de giro permanente que se acopla a una “estrella de malta” permitiendo que el mecanismo tenga un desplazamiento segmentado de la rotación del plato, para que de esta manera se detenga en cada estación mostrada en la Figura 3.2, además la velocidad de giro del plato es controlada por medio de un variador de frecuencia.

Los datos técnicos del motor utilizado se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3. 1 Datos técnicos del motor trifásico



| PARÁMETROS            | VALOR    |
|-----------------------|----------|
| Potencia              | 0.5 HP   |
| Voltaje               | 220 V    |
| Corriente nominal     | 1.87 A   |
| Frecuencia            | 60 Hz    |
| Factor de Potencia    | 0.7      |
| Revolución por minuto | 1700 rpm |

Datos técnicos del motor trifásico. Elaborado por: Cortez Samantha

### 3.1.6 Selección de Breakers Termomagnético

Este dispositivo abre el circuito eléctrico cuando la intensidad de la corriente eléctrica excede un valor determinado o cuando se produce un cortocircuito, protegiendo los elementos que se encuentren debajo de este.

#### - Breaker para Control

El sistema de control contará con una fuente de 24Vdc, que suministrará energía tanto a la pantalla Weintek MT8071iE como al PLC Simatic S7-1200, el cual cuenta con ocho salidas para las electroválvulas con retorno a muelle de cada estación, cinco sensores y un switch de presión. Por lo cual se ocupará un Breaker de dos polos, 4 A.

#### - Breaker para Temperatura

Para el control de temperatura se tiene una resistencia de 400 W, a 220Vac por lo cual el valor de resistencia se calcula en la ecuación 3.1:

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(110 \text{ V})^2}{400 \text{ W}} = 30.25 \Omega \quad \text{Ec. (3.1)}$$

La corriente que consume la resistencia de 121 ohm se encuentra dada por la ecuación 3.2:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{110 \text{ V}}{30.25 \Omega} = 3.64 \text{ A} \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Por lo cual se ocupará un Breaker de dos polos, 6 A.

#### - Breaker para el Variador de Frecuencia

El variador es la protección para el motor trifásico. Tiene una corriente de entrada de 7.7 A, por lo cual se ocupará un Breaker de dos polos, 10 A.

### 3.1.7 Contactor Compacto

Por normas de la Empresa se utilizó un contactor compacto de marca Schneider de la serie LC1D09M7 para energizar primero la parte de control y después la parte de fuerza, teniendo en cuenta que la corriente que consume el variador es de 7.7 A, en la Tabla 3.2 se muestran los datos técnicos del mismo.

Tabla 3. 2 Datos técnicos del contactor compacto



| PARÁMETROS               | VALOR        |
|--------------------------|--------------|
| Potencia                 | 0.74 HP      |
| Voltaje                  | 220 V        |
| Corriente                | 9 A          |
| Frecuencia               | 50 Hz - 60Hz |
| Bobina                   | 220V         |
| Número de polos          | 3            |
| Temperatura de operación | -60 a 80 °C  |
| Protección               | IP20         |

Datos técnicos del contactor compacto. Elaborado por: Cortez Samantha

### 3.1.8 Selección del Variador de frecuencia

El variador de frecuencia de la marca Siemens V20 presenta menor tiempo de puesta en marcha ya que a comparación de otros variadores este es más rápido, de igual manera su uso no es complicado debido a que se programa por parámetros.

Tomando en consideración los datos técnicos del motor se seleccionó el variador descrito en la Tabla 3.3.

Tabla 3. 3 Datos técnicos del variador de frecuencia



| PARÁMETROS               | VALOR        |
|--------------------------|--------------|
| Potencia                 | 0.74 HP      |
| Voltaje Entrada          | 200V -240 V  |
| Corriente Entrada        | 7.7 A        |
| Voltaje Salida           | 220 V        |
| Corriente Salida         | 3.20 A       |
| Frecuencia Entrada       | 50 Hz - 60Hz |
| Frecuencia Salida        | 0 – 550 Hz   |
| Factor de Potencia       | 0.72         |
| Temperatura de operación | -10 a 60 °C  |
| Eficiencia               | 98 %         |
| Protección               | IP20         |
| Comunicación             | USS, Modbus  |

Datos técnicos del variador de frecuencia. Elaborado por: Cortez Samantha

En el variador de frecuencia se configuro los parámetros a partir de los datos técnicos del motor trifásico se muestran en la Tabla 3.4.

Tabla 3. 4 Parámetros configurados en el variador de frecuencia

| Parámetros | Descripción                   | Valor |
|------------|-------------------------------|-------|
| P0003      | Acceso a todos los parámetros | 1     |
| P0010      | Puesta en marcha rápida       | 1     |
| P0100      | Unidad de Potencia(HP)        | 1     |
| P0304      | Tensión nominal motor         | 220   |
| P0305      | Corriente nominal motor       | 1.87  |
| P0307      | Potencia nominal motor        | 0.5   |
| P3010      | Frecuencia nominal motor      | 60    |
| P0311      | Velocidad motor               | 1700  |
| P0700      | Señal de mando (bornera)      | 2     |
| P1080      | Frecuencia mínima             | 0     |
| P1082      | Frecuencia máxima             | 52    |
| P1120      | Rampa aceleración             | 2.5   |
| P1121      | Rampa desaceleración          | 2.5   |

Parámetros configurados en el variador de frecuencia. Elaborado por: Cortez Samantha



### 3.1.9 Fuente de Alimentación 24V

Teniendo en cuenta que el Breaker determinado para la parte de control es de 220 V a 4 A, se seleccionó el convertidor descrito en la Tabla 3.5 marca Siemens.

Este será la fuente de alimentación para el controlador lógico programable, para la pantalla HMI y para los sensores utilizados en la planta.

Tabla 3. 5 Datos técnicos de la fuente de alimentación



| PARÁMETROS           | VALOR      |
|----------------------|------------|
| Voltaje de Entrada   | 220 V      |
| Corriente de Entrada | 1.2 A      |
| Voltaje de Salida    | 24 V       |
| Corriente de Salida  | 5 A        |
| Frecuencia           | 50 – 60 Hz |

Datos técnicos de la fuente de alimentación. Elaborado por: Cortez Samantha

### 3.1.10 Controlador Lógico Programable

Al contar con ocho electroválvulas con retorno a muelle, salida para activación del variador de frecuencia, se utilizó el PLC de la marca Siemens S7-1200, CPU 1214C compacto, entradas de pulsador de start, stop, switch de presión y paro de emergencia, en la tabla 3.4 se muestran los datos técnicos del mismo, además dispone de un puerto ethernet, el cual será destinado para la comunicación con la pantalla táctil.

La programación de este dispositivo se la realizará desde el software TIA PORTAL. En la Tabla 3.6 se muestran los datos técnicos del controlador lógico programable.

Tabla 3. 6 Datos técnicos del PLC S7-1200, CPU 1214C DC/DC/DC



| PARÁMETROS                      | VALOR              |
|---------------------------------|--------------------|
| Voltaje                         | 22 V – 28V         |
| Corriente de entrada            | 500 mA             |
| Corriente de Salida             | 1.6 A              |
| Potencia Disipada               | 12 W               |
| Entradas Digitales              | 14                 |
| Entradas Analógicas             | 2                  |
| Salidas Digitales               | 10                 |
| Memoria de Usuario de Carga     | 4 MB               |
| Memoria de Variables Remanentes | 10 KB              |
| Interfaz de Comunicación        | Ethernet           |
| Transferencia de datos          | 10 Mb/s – 100 Mb/s |

Datos técnicos del PLC S7-1200, CPU 1214C DC/DC/DC. Elaborado por: Cortez Samantha

### 3.1.11 Sensores

La máquina envasadora para su automatización cuenta con dos sensores que son:

#### - **Sensor Inductivo**

Un sensor inductivo de marca Hanyoung de la serie UP 12RD-4PP tipo PNP, detecta cada vez que el plato gira, siendo el sensor principal para la automatización ya que a partir de este se toman los tiempos de retardo y tiempos de acción de cada estación, para evitar falsas señales del sensor de presencia también se da un tiempo de acción para de esta manera evitar desperdicios de producto, además se considera que todas las funciones de la máquina envasadora se encuentran sincronizadas con el giro segmentado del plato.

En la Tabla 3.7 se muestran los datos técnicos del sensor:

Tabla 3. 7 Datos técnicos del sensor inductivo UP-12RD-4PP



| PARÁMETROS                 | VALOR                   |
|----------------------------|-------------------------|
| Voltaje                    | 24 V                    |
| Corriente                  | 6 mA                    |
| Distancia de sensado       | 2 mm - 4 mm             |
| Distancia de Ajuste        | 0 – 1.6 mm / 0 – 3.2 mm |
| Temperatura Ambiente       | -25°C – 70°C            |
| Resistencia a la vibración | 10 Hz – 55 Hz           |
| Protección                 | IP67                    |

Datos técnicos del sensor inductivo UP-12RD-4PP. Elaborado por: Cortez Samantha

#### - **Sensor de Proximidad**

El sensor de proximidad de la marca Hanyoung de la serie PR-R300PP permite detectar la existencia de un envase en la cavidad, en donde al no detectar los envases no permite dar la activación a las demás estaciones, se encuentra colocada por seguridad para evitar el desperdicio de recursos, tanto de producto como de las láminas de aluminio u las tapas.

Tiene un soporte para la regulación de posición del mismo ya que cuenta con tres diferentes tipos de envases, los cuales tienen diferente altura por ende se tiene que calibrar para cada envase, tomando en cuenta que el sensor debe apuntar al pliegue del envase, en donde se deben activarse dos luces, una luz roja indicando que el sensor está detectando y una luz verde mostrando que se encuentra en el rango de medición emitiendo la señal de control para un óptimo funcionamiento. En la Tabla 3.8 se muestran los datos técnicos del sensor:

Tabla 3. 8 Datos técnicos del sensor PR-R300PP



| PARÁMETROS                 | VALOR            |
|----------------------------|------------------|
| Voltaje                    | 24 V             |
| Corriente                  | 35 mA            |
| Distancia de sensado       | 300 mm           |
| Método de sensado          | Reflexión Difusa |
| Temperatura Ambiente       | -20°C – 60°C     |
| Resistencia a la vibración | 10 Hz – 50 Hz    |
| Protección                 | IP66             |

Datos técnicos del sensor PR-R300PP. Elaborado por: Cortez Samantha

### 3.1.12 Pantalla Weintek 7”

La pantalla Weintek de la serie MT8071IE se conectará con el PLC s7 1200 mediante comunicación *ethernet*, además mediante comunicación RS-485 se conecta con el controlador de temperatura, el modo de configuración es mediante el software EasyBuilder Pro V6.2. En la Tabla 3.9 se muestra los datos técnicos de la pantalla.

Tabla 3. 9 Datos técnicos de la pantalla MT8071IE



| PARÁMETROS                 | VALOR                           |
|----------------------------|---------------------------------|
| Voltaje                    | 24 V                            |
| Corriente                  | 1.25 A                          |
| Memoria                    | 128 MB                          |
| Temperatura                | -10°C – 60°C                    |
| Resistencia a la vibración | 10 Hz – 25 Hz                   |
| Protección                 | IP65                            |
| Puertos de Comunicación    | USB, RJ45, RS232, RS485 2H / 4H |

Datos técnicos de la pantalla MT8071IE. Elaborado por: Cortez Samantha

### 3.1.13 Relé de estado sólido

Para el control preciso de temperatura se utilizó el relé de estado sólido HSR-2D202Z, el circuito de entrada en el cual se encuentra conectado el control de temperatura el cual contiene la Termocupla tipo J; además la entrada está aislada del circuito de carga en donde se tiene la resistencia para la estación de sellado. En la Tabla 3.10 se muestran los datos técnicos.

Tabla 3. 10 Datos técnicos del relé de estado sólido HSR-2D202Z



| PARÁMETROS                 | VALOR         |
|----------------------------|---------------|
| Voltaje Entrada            | 4 V - 32 V    |
| Corriente Entrada          | 10 mA         |
| Voltaje Carga              | 90 V – 264 V  |
| Corriente Carga            | 20 A          |
| Frecuencia Carga           | 25 Hz – 65 Hz |
| Temperatura                | -30°C – 90°C  |
| Resistencia a la vibración | 10 Hz – 55 Hz |

Datos técnicos del relé de estado sólido HSR-2D202Z. Elaborado por: Cortez Samantha

### 3.1.14 Control de Temperatura

El controlador de temperatura de la marca Delta de la serie DBT-4848 se encuentra conectado a la entrada del relé de estado sólido, a este controlador se tiene conectada una Termocupla tipo J como sensor de temperatura, en donde por medio de comunicación RS-485 con la pantalla táctil recibe el valor del *set point* (SV) y transmite la variable del proceso (PV).

En la Tabla 3.11 se muestran los datos técnicos:

Tabla 3. 11 Datos técnicos del controlador de temperatura DBT-4848



| PARÁMETROS                  | VALOR                        |
|-----------------------------|------------------------------|
| Voltaje Entrada AC          | 100 Vac - 240 Vac            |
| Voltaje Entrada DC          | 24 V                         |
| Corriente Entrada           | 10 mA                        |
| Salida de control tipo Relé | 250 Vac , 5A                 |
| Frecuencia                  | 50 Hz / 60 Hz                |
| Memoria EEPROM (no volátil) | 4 kbit                       |
| Comunicación RS-485         | Protocolo MODBUS ASCCI / RTU |
| Tipo de sensores            | Termopares, RTD, Análogos    |
| Modo de Control             | PID, ON/OFF                  |
| Temperatura                 | -20°C – 65°C                 |
| Resistencia a la vibración  | 10 Hz – 55 Hz                |
| Protección                  | IP65                         |

Datos técnicos del controlador de temperatura DBT-4848. Elaborado por: Cortez Samantha

Los datos para la configuración general en el controlador de temperatura tales como el tipo de Termocupla, activación y protocolo para la comunicación las cuales se muestran en la Tabla 3.12.

Tabla 3. 12 Parámetros configurados en el controlador de temperatura DBT-4848

| <b>Parámetros</b> | <b>Descripción</b>                       | <b>Valor</b> |
|-------------------|--|--------------|
| CnPt              | Tipo de Termocupla                       | J            |
| tPun              | Medida de Temperatura                    | C            |
| tP-H              | Límite superior del rango de temperatura | 120          |
| tP-L              | Límite inferior del rango de temperatura | -100         |
| Ctrl              | Tipo de control (PID)                    | Pcd          |
| ALA1              | Alarma 1                                 | 0            |
| ALA2              | Alarma 2                                 | 0            |
| SALA              | Ajuste de alarma                         | off          |
| CoSH              | Activar modo de comunicación             | on           |
| S-HC              | Tipo de Salida (Caliente)                | HEAT         |
| C-SL              | Modo de comunicación                     | Rtu , Ascci  |

Parámetros configurados en el controlador de temperatura. Elaborado por: Cortez Samantha.

Para realizar el control PID de temperatura se activó el auto-tuning, para de esta manera encontrar los valores óptimos de funcionamiento disminuyendo el error, después de ello se desactivo dicha opción y se configuro cada parámetro para de esta manera evitar calcular cada vez que se encienda la máquina. Los datos de comunicación y ajustes del PID se muestran en la Tabla 3.13.

Tabla 3. 13 Datos configurados en el controlador de temperatura DBT-4848

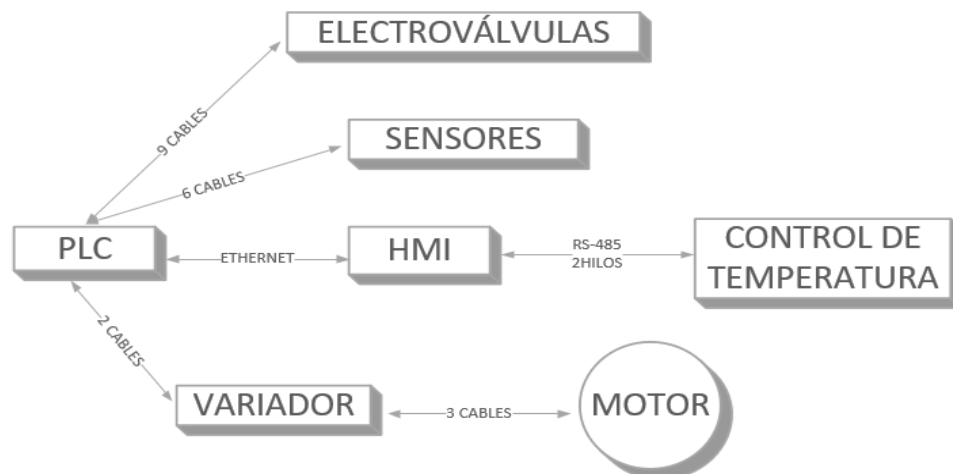
| Parámetros | Descripción                                 | Valor |
|------------|---|-------|
| C-no       | Dirección del dispositivo para comunicación | 1     |
| LEn        | Longitud de datos                           | 8     |
| PrtY       | Bit de Paridad                              | Even  |
| Stop       | Bit de stop                                 | 1     |
| AT         | Auto- tuning                                | Off   |
| bPS        | Ajuate de velocidad de trasmisión           | 9600  |
| Pcd0       | Ajuste del PID (PV)                         | 120   |
| Su0        | Ajuste del PID (SV)                         | 120   |
| P0         | Ajuste del Proporcional                     | 51.0  |
| C0         | Ajuste tiempo Integral                      | 156   |
| d0         | Ajuste tiempo Derivativo                    | 39    |
| CoF0       | Ajuste de desviación integral               | 34.5  |
| HtPd       | Ajuste del ciclo de control                 | 3     |
| tPof       | Valor de desviación de temperatura          | 0.0   |

Datos configurados en el controlador de temperatura DBT-4848. Elaborado por: Cortez Samantha.

### 3.2 Diseño del Software

En la Figura 3.6 se observan las conexiones de los elementos antes mencionados, con su número de cables teniendo en cuenta que son conexiones para activación u comunicación entre ellos.

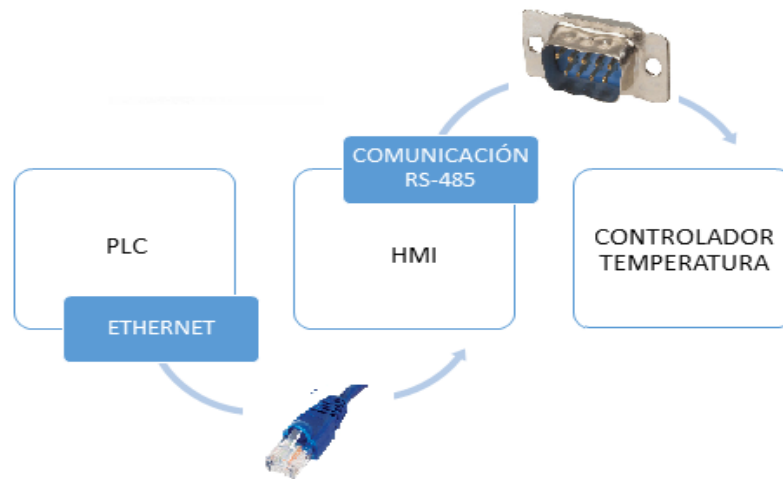
Figura 3. 6 Conexión de elementos de la máquina envasadora



Conexión de elementos de la máquina envasadora. Elaborado por: Cortez Samantha

En la Figura 3.7 se observa el diagrama de bloques de comunicación entre tres dispositivos, utilizando comunicación *ethernet* y comunicación RS-485.

Figura 3. 7 Diagrama de Bloques

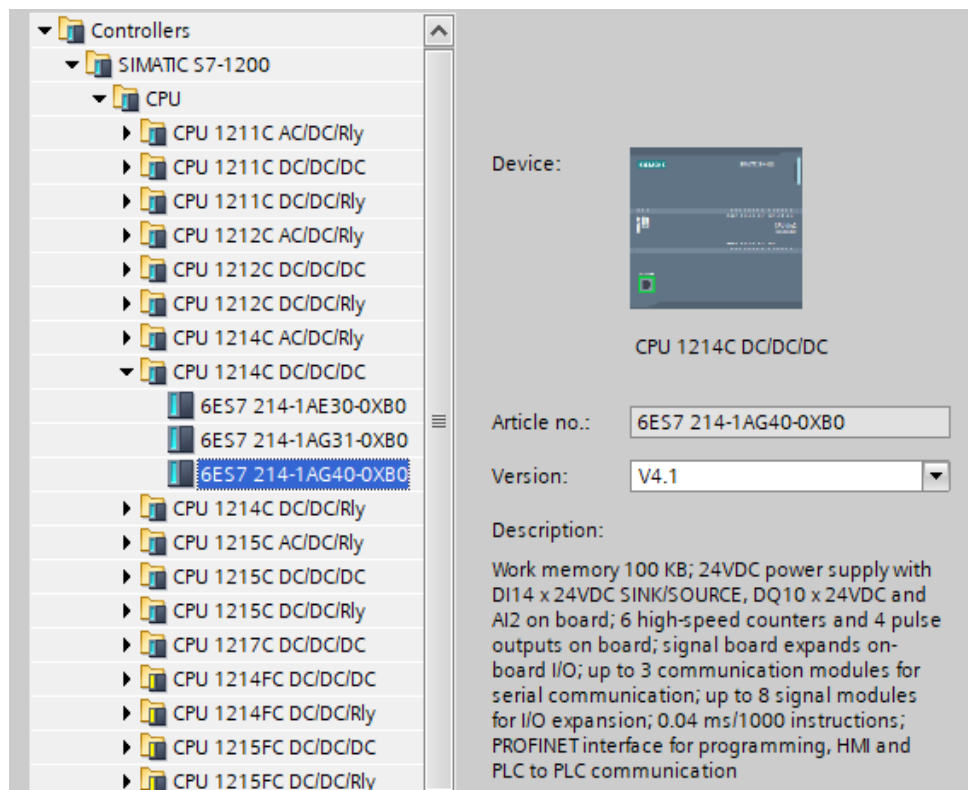


Arquitectura de la máquina. Elaborado por: Cortez Samantha

### 3.2.1 Interfaz PLC –HMI

El protocolo IP se utilizó para comunicar el PLC con el HMI, en donde se debe asignar una dirección IP a cada dispositivo, tomando en cuenta que deben estar en la misma red para que se puedan comunicar, en el software TIA PORTAL V15 se abrió un nuevo archivo en donde se añadió un nuevo dispositivo como se muestra en la Figura 3.8, seleccionando la serie del CPU.

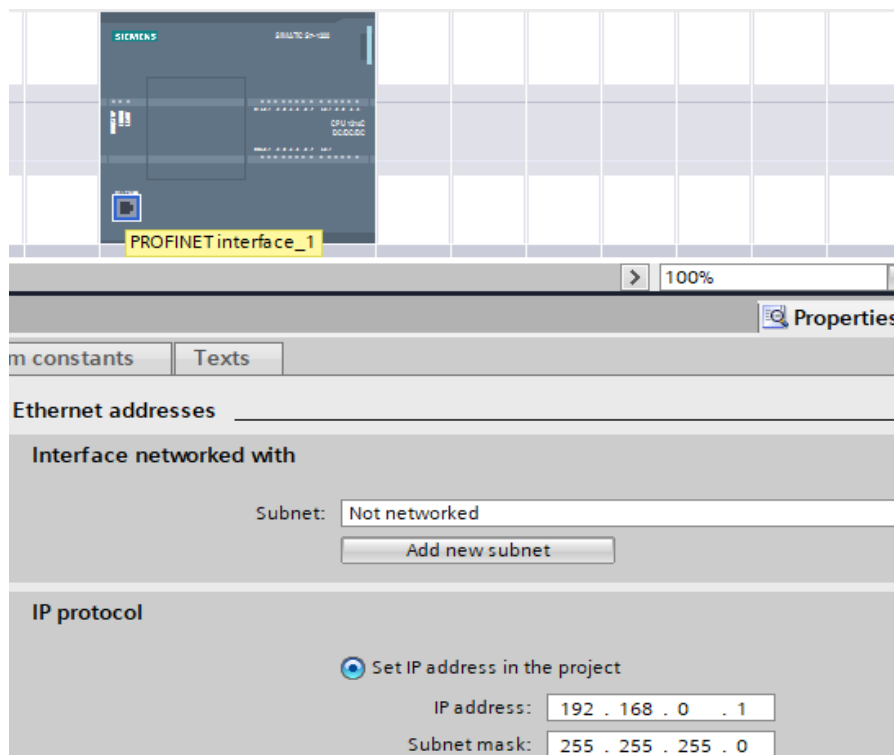
Figura 3. 8 Selección de CPU en el software TIA PORTAL V15





A continuación, se configura el dispositivo como se observa en la figura 3.9 al hacer clic en el puerto profinet se despliega las propiedades del puerto, en donde por defecto se encuentra la dirección IP 192.168.0.1.

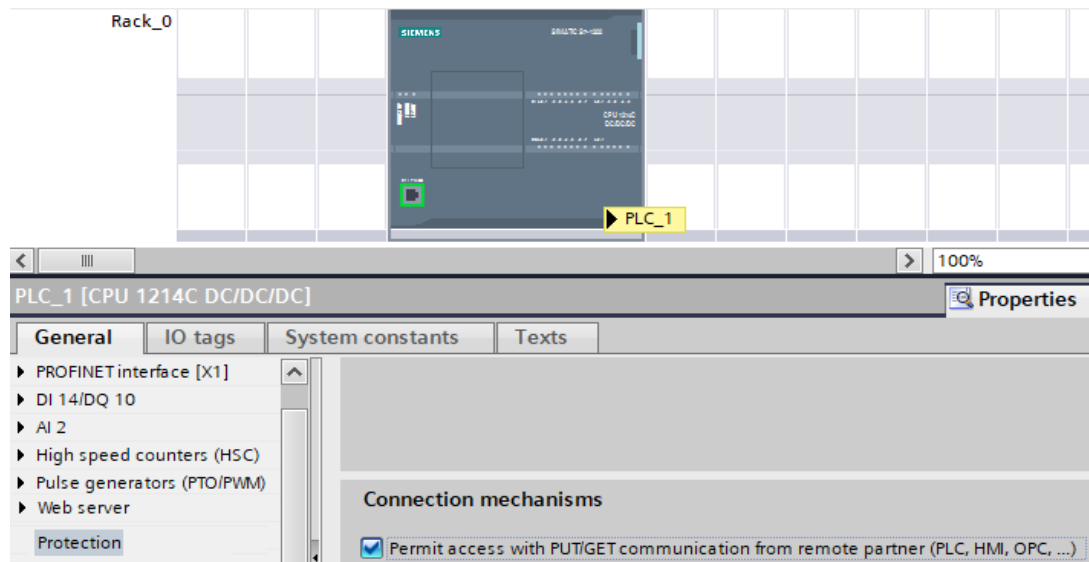
Figura 3. 9 Configuración del protocolo IP



Configuración del protocolo IP. Elaborado por: Cortez Samantha

Además de la configuración de la dirección se debe habilitar la comunicación desde otro dispositivo (HMI), como se muestra en la Figura 3.10.

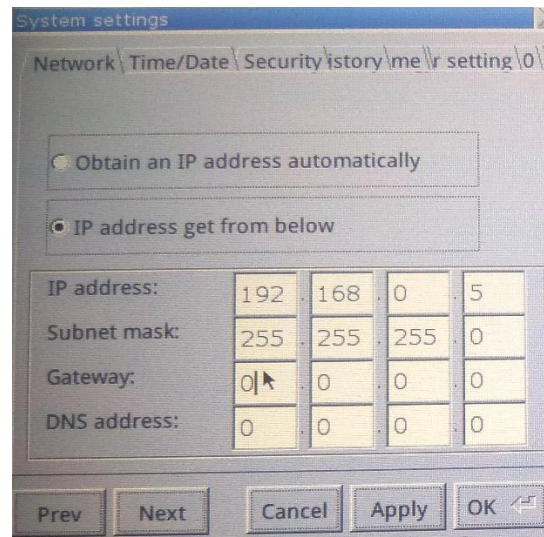
Figura 3. 10 Habilitar comunicación con HMI



Habilitar comunicación con HMI. Elaborado por: Cortez Samantha

Para la configuración de la pantalla al encenderla tiene un demo, en donde en configuración en la pestaña Network se selecciona la opción que se muestra en la Figura 3.11, para comunicarse con el PLC debe estar en la misma red, es decir en 192.168.0. #, siendo el numeral cualquier número que se escoja, en este caso el cinco.

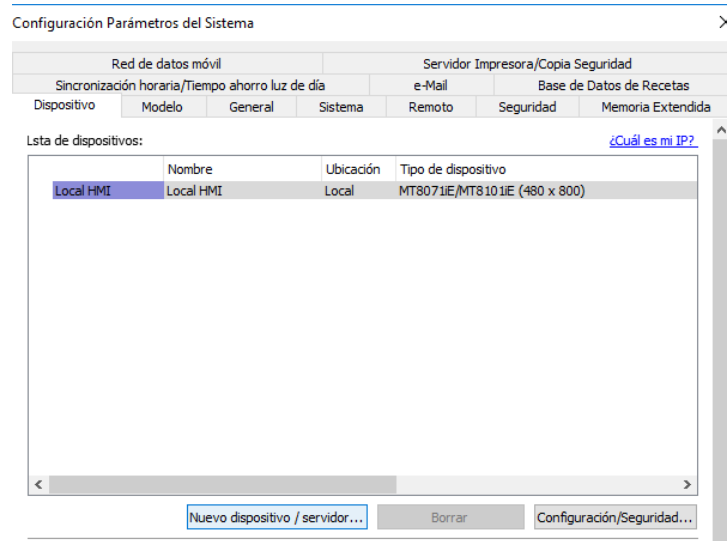
Figura 3. 11 Configuración de la IP del HMI



Configuración de la IP del HMI. Elaborado por: Cortez Samantha

En el programa EasyBuilder Pro V6.2.2 se configura el HMI, en donde para mostrar los datos PLC se selecciona la opción de configuración de parámetros del sistema y allí se añade el dispositivo como se muestra en la Figura 3.12.

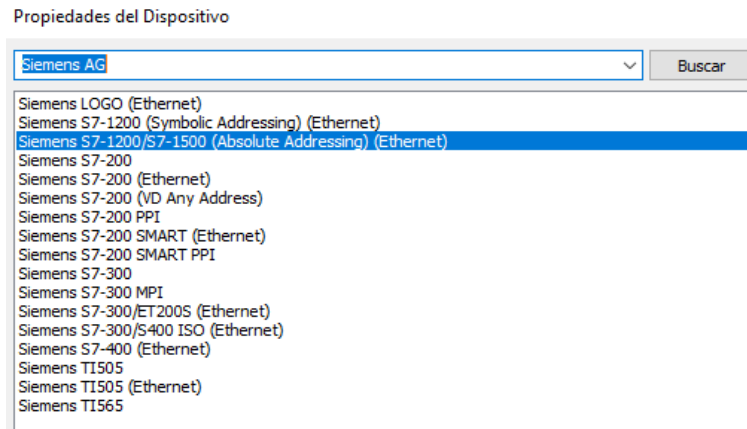
Figura 3. 12 Añadir el PLC en el HMI



Añadir el PLC en el HMI. Elaborado por: Cortez Samantha

Después se muestra la ventana de la Figura 3.13, en donde se selecciona el PLC Siemens S7-1200 que tenga comunicación *ethernet*.

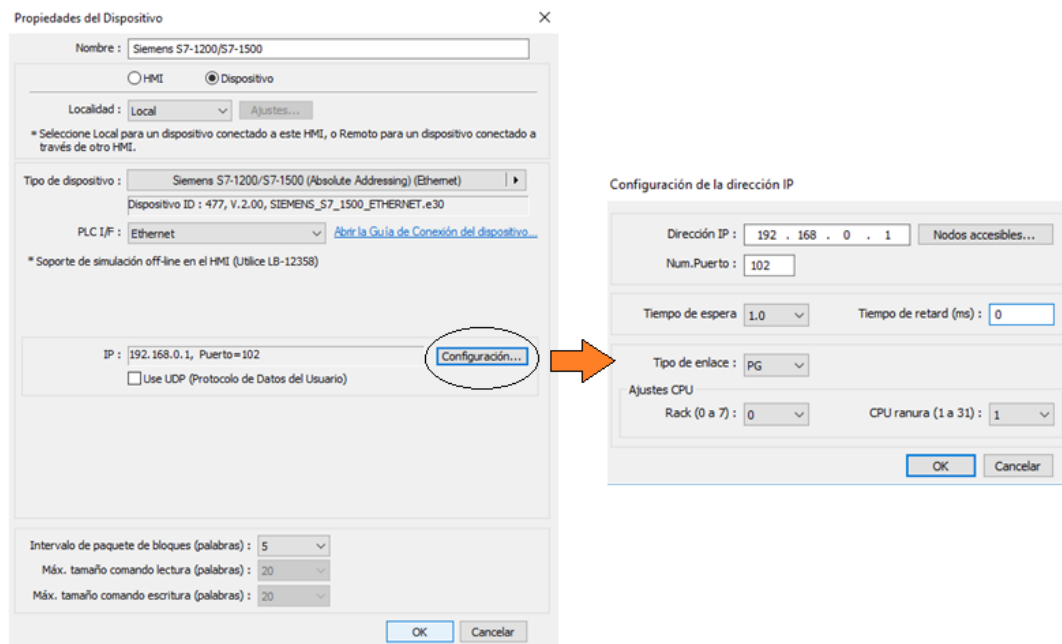
Figura 3. 13 Selección del PLC



Selección del PLC. Elaborado por: Cortez Samantha.

Después de seleccionar el dispositivo se muestra la siguiente ventana de la Figura 3.14, en donde se configura el puerto con la misma dirección IP que se colocó en el PLC.

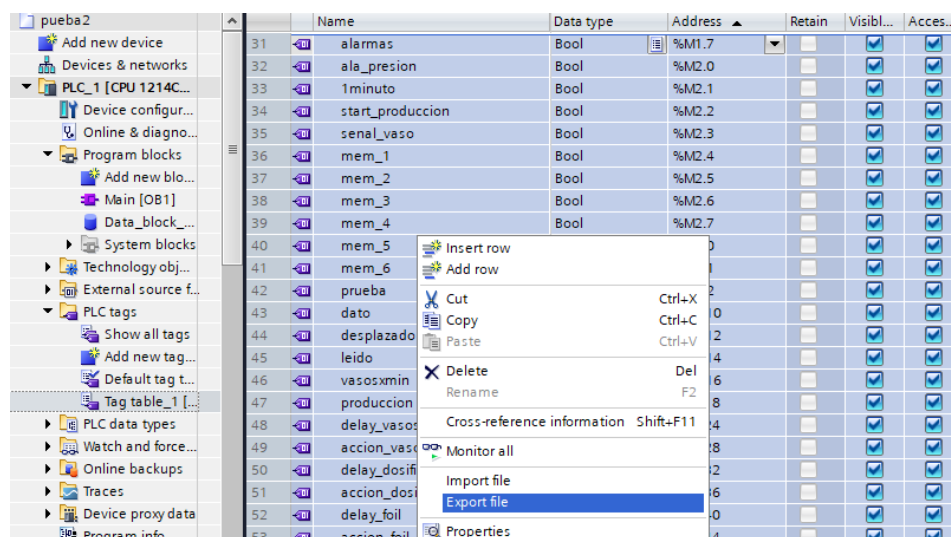
Figura 3. 14 Configuración del puerto del PLC en el HMI



Configuración del puerto del PLC en el HMI. Elaborado por: Cortez Samantha.

En el software TIA PORTAL V15 para exportar las variables al HMI, se selecciona la opción de variables del PLC, dentro de estas se despliega 4 opciones y se escoge la Tabla 1 que es en donde se asignó nombres y el tipo de dato, como se muestra en la Figura 3.15.

Figura 3. 15 Exportar variables del PLC

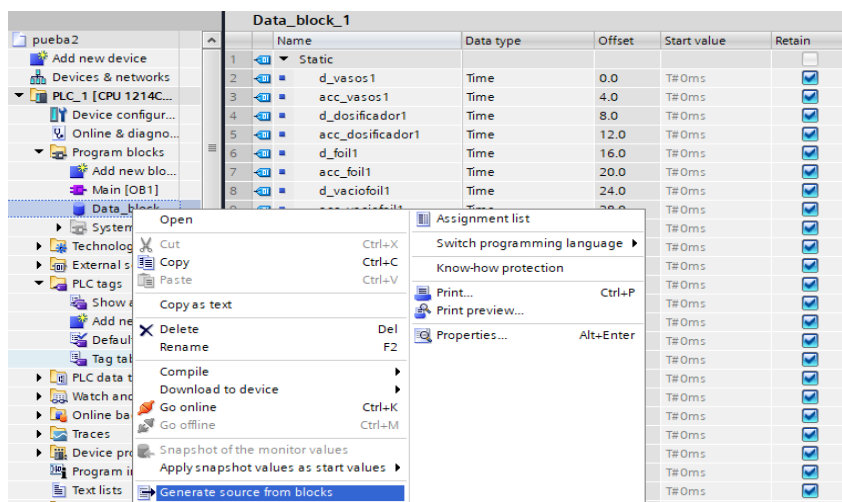


Exportar variables del PLC. Elaborado por: Cortez Samantha

Las variables exportadas son guardadas en un archivo de extensión .xlsx, además se exportar las variables remanentes del bloque de datos como se muestra en la Figura

3.16, en un archivo de extensión .db, estas guardan los datos al momento de apagar la máquina y de esta manera no configurar cada vez que se vuelva a encenderla ya que al tener una producción por lotes se tiene una producción discontinua y la máquina se encuentra de manera operativa en horario laboral de trabajo.

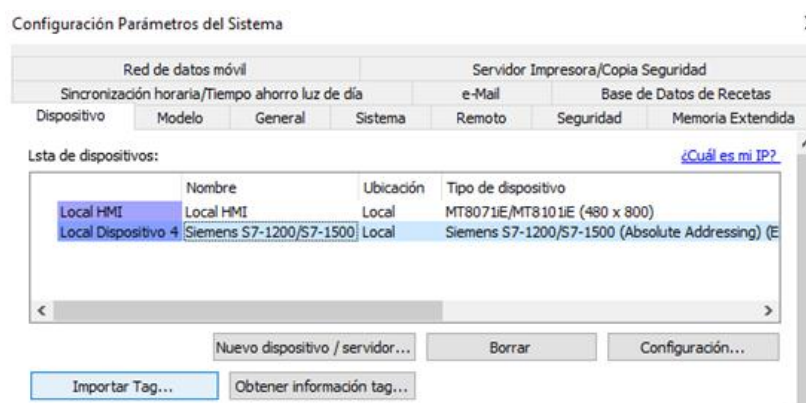
Figura 3. 16 Exportar variables del bloque de datos



Exportar variables del bloque de datos. Elaborado por: Cortez Samantha

Para importar en las variables del PLC en el programa EasyBuilder Pro, en la configuración de parámetros del sistema se selecciona el dispositivo configurado y se hace clic en la opción Importar variables como se muestra en la Figura 3.17.

Figura 3. 17 Importar variables del PLC en el HMI



Importar variables del PLC en el HMI. Elaborado por: Cortez Samantha

Después de hacer clic en importar aparece la ventana de la Figura 3.18 en donde se selecciona la opción buscar tanto para la tabla de variables como para el bloque de datos.

Figura 3. 18 Importar tabla de variables remanentes y no remanentes

**PLC tags**  
 Nom. fichero : C:\Users\Sam\Desktop\programa\prueba2.xlsx Buscar...

**Program blocks**  
☒ Utilizar un solo fichero para varios bloques de datos

| DB Número | [Nombre Bloque de Datos] |
|-----------|--------------------------|
| DB1       | Data_block_1             |
|           |                          |
|           |                          |

1 fichero(s) seleccionado(s) Borrar Buscar...

**Importar estado**

Importación de información del Tag con éxito (C:\Users\Sam\Desktop\programa\prueba2.xlsx)  
 Importación de información del Tag con éxito (DB1)

☐ Los nombres de tag utilizan el formato S7-1200

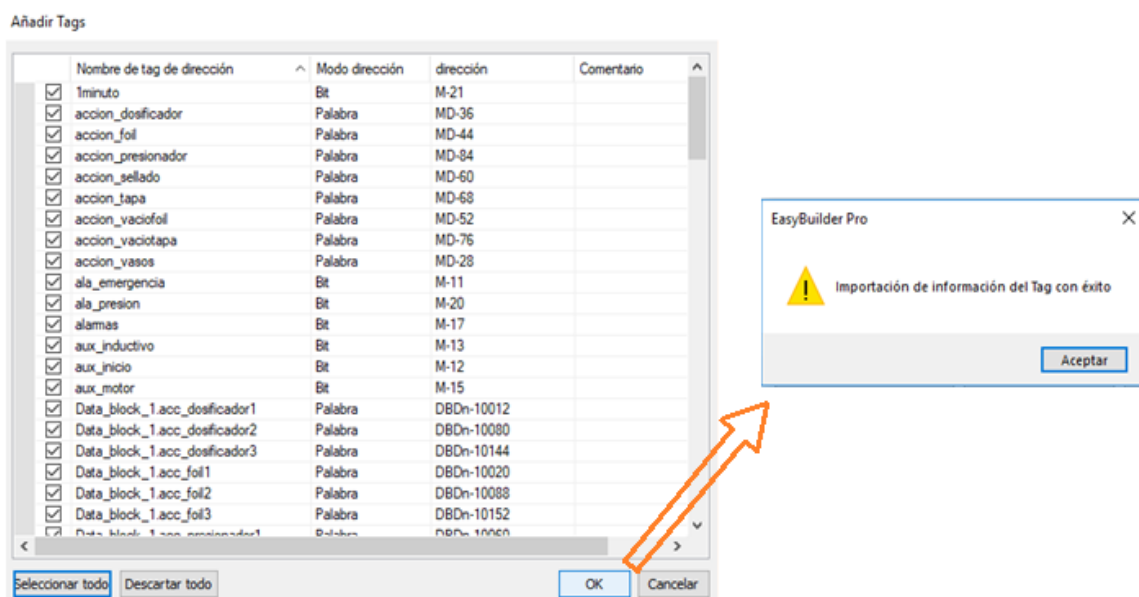
\* For proper communication, make sure that in TIA:  
 1. [DB UTILITAIRES] -> [Attributes] -> [Optimized block access] is unchecked.  
 2. [General] -> [Protection] -> [Permit access with PUT/GET communication from remote partner] is checked.

Importar ☐ Reservar Tag existente OK Cancelar

Importar tabla de variables remanentes y no remanentes. Elaborado por: Cortez Samantha

Al presionar OK en la Figura 3.18 se muestra la ventana de la Figura 3.19 en donde se encuentran las variables remanentes y no remanentes que fueron exportadas del TIA PORTAL, se selecciona todas las variables y se hace clic en OK apareciendo el mensaje de importación con éxito.

Figura 3. 19 Selección de variables remanentes y no remanentes



Selección de variables remanentes y no remanentes. Elaborado por: Cortez Samantha.

### 3.2.2 Interfaz HMI - Controlador de Temperatura

El protocolo Modbus RTU se utilizó para comunicar el HMI con el controlador de temperatura, por medio de la comunicación RS - 485 de dos hilos, es decir, transmisión y recepción de datos, en el EasyBuilder Pro se asignó las direcciones de dos parámetros (set point, variable del proceso), que se encuentran en la hoja de datos técnicos del controlador de temperatura, en este se configuro los parámetros descritos en las tablas 3.12 y 3.13, activando el modo de comunicación RTU, la dirección del dispositivo, velocidad de transmisión y parámetros de la trama tales como: longitud de datos, bit de stop, bit de paridad.

En la Tabla 3.14 se muestran las direcciones de las variables que son comunicadas por el protocolo Modbus RTU, estas se encuentran en forma hexadecimal.

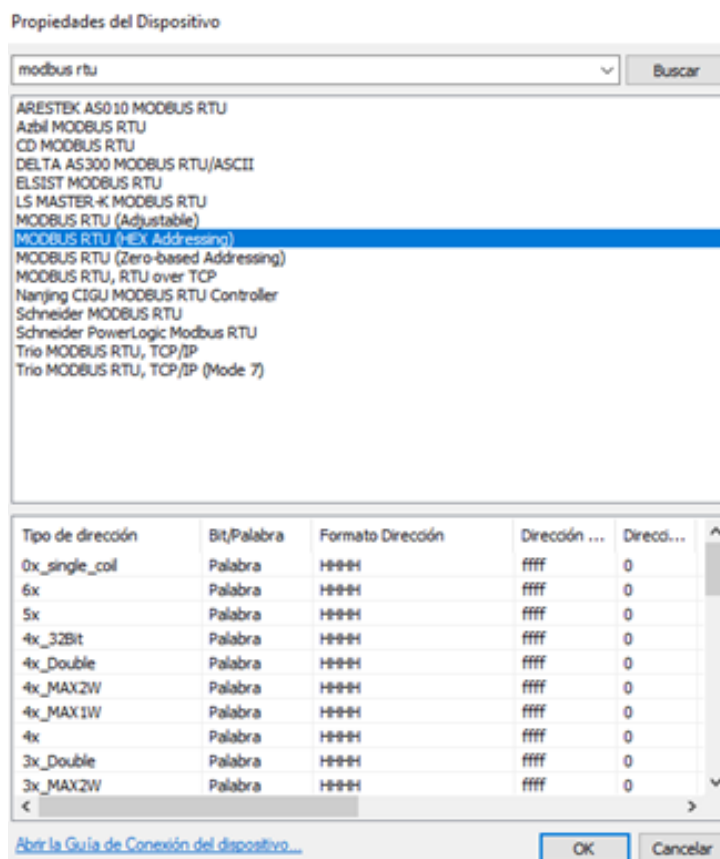
Tabla 3. 14 Direcciones de las variables del control de temperatura

| Variable             | Dirección Hexadecimal |
|----------------------|-----------------------|
| Set Point            | 1001                  |
| Variable del Proceso | 1000                  |

Direcciones de las variables del control de temperatura. Elaborado por: Cortez Samantha

En la configuración de parámetros de sistema de la Figura 3.12 se añade un nuevo dispositivo y se selecciona protocolo Modbus RTU como se muestra en la Figura 3.20, con formato hexadecimal.

Figura 3. 20 Selección del protocolo

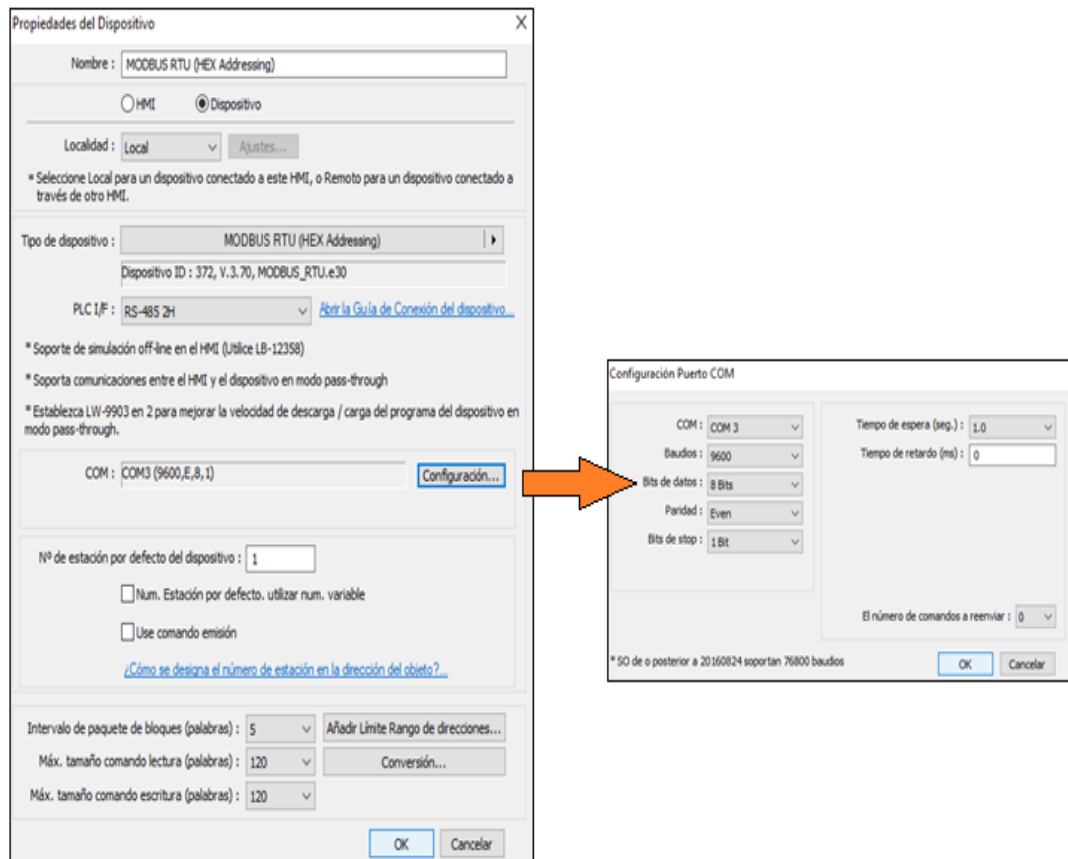


Selección del protocolo. Elaborado por: Cortez Samantha

Después de seleccionar el protocolo se muestra la ventana de la Figura 3.21, en donde se configura la conexión que será RS-485 de dos hilos, el puerto con los parámetros configurados en la Tabla 3.13.

Figura 3. 21 Configuración del puerto del HMI para comunicación RS-485





Configuración del puerto del HMI para comunicación RS-485. Elaborado por: Cortez Samantha

En la Figura 3.22 se observa los parámetros de temperatura que son visualizados en la pantalla.

Figura 3. 22 Visualización de valores de la Temperatura en el HMI

## TEMPERATURA

---

VARIABLE DEL PROCESO

0

[C°]

SETPOINT

0

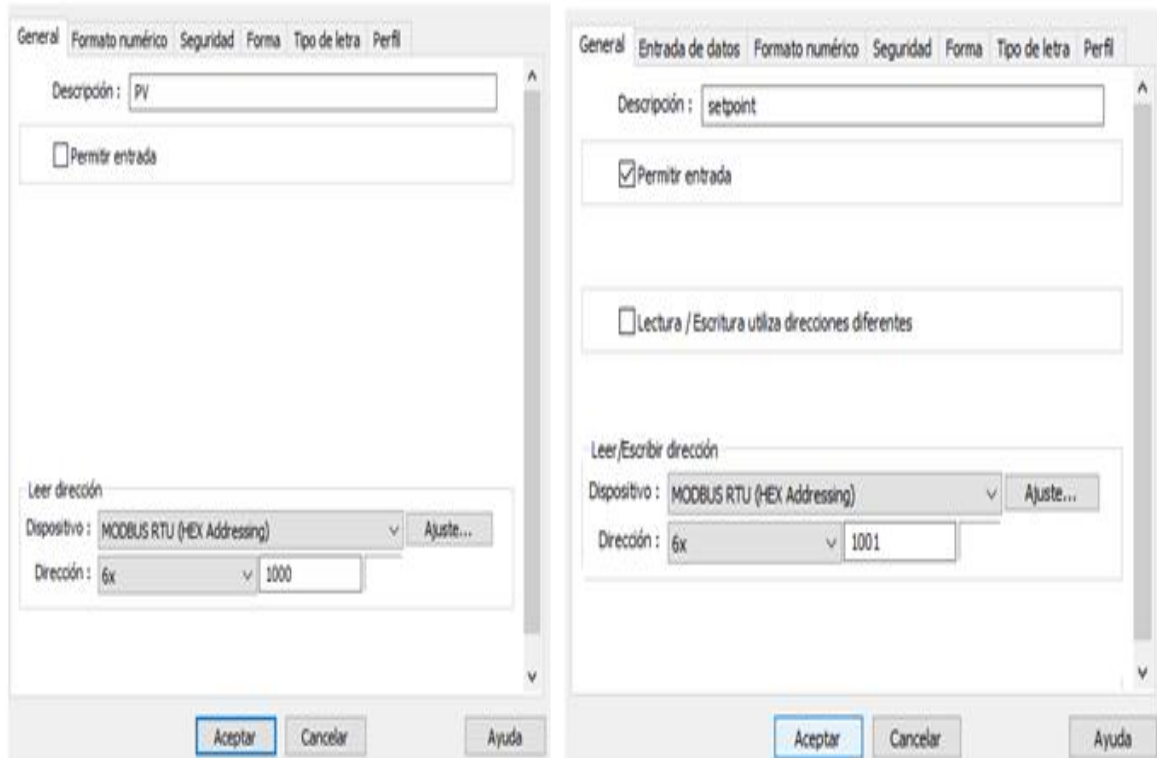
[C°]

Visualización de valores de la Temperatura en el HMI. Elaborado por: Cortez Samantha

Al hacer clic los recuadros tanto del valor de variable del proceso como *set point*, se muestra la ventana de la Figura 3.23, en donde en dispositivo se selecciona el

protocolo, en la dirección se escoge 6x que indica el formato hexadecimal y por último se coloca las direcciones de la Tabla 3.14.

Figura 3. 23 Configuración de las direcciones de las variables de temperatura



Configuración de las direcciones de las variables de temperatura. Elaborado por: Cortez Samantha

La variable del proceso es solo de lectura mientras que el *set point* es de lectura y escritura por ende se encuentra habilitado el teclado emergente, permitiendo la entrada de datos.

Después de dar clic en aceptar ya se encuentran configurados los dos parámetros por lo tanto ya están comunicados.

### 3.2.3 Diagrama de flujo del controlador lógico programable

El diagrama de flujo del control del proceso de envasado de productos pastosos se observa en la figura 3.24.

Figura 3. 24 Diagrama de flujo del PLC

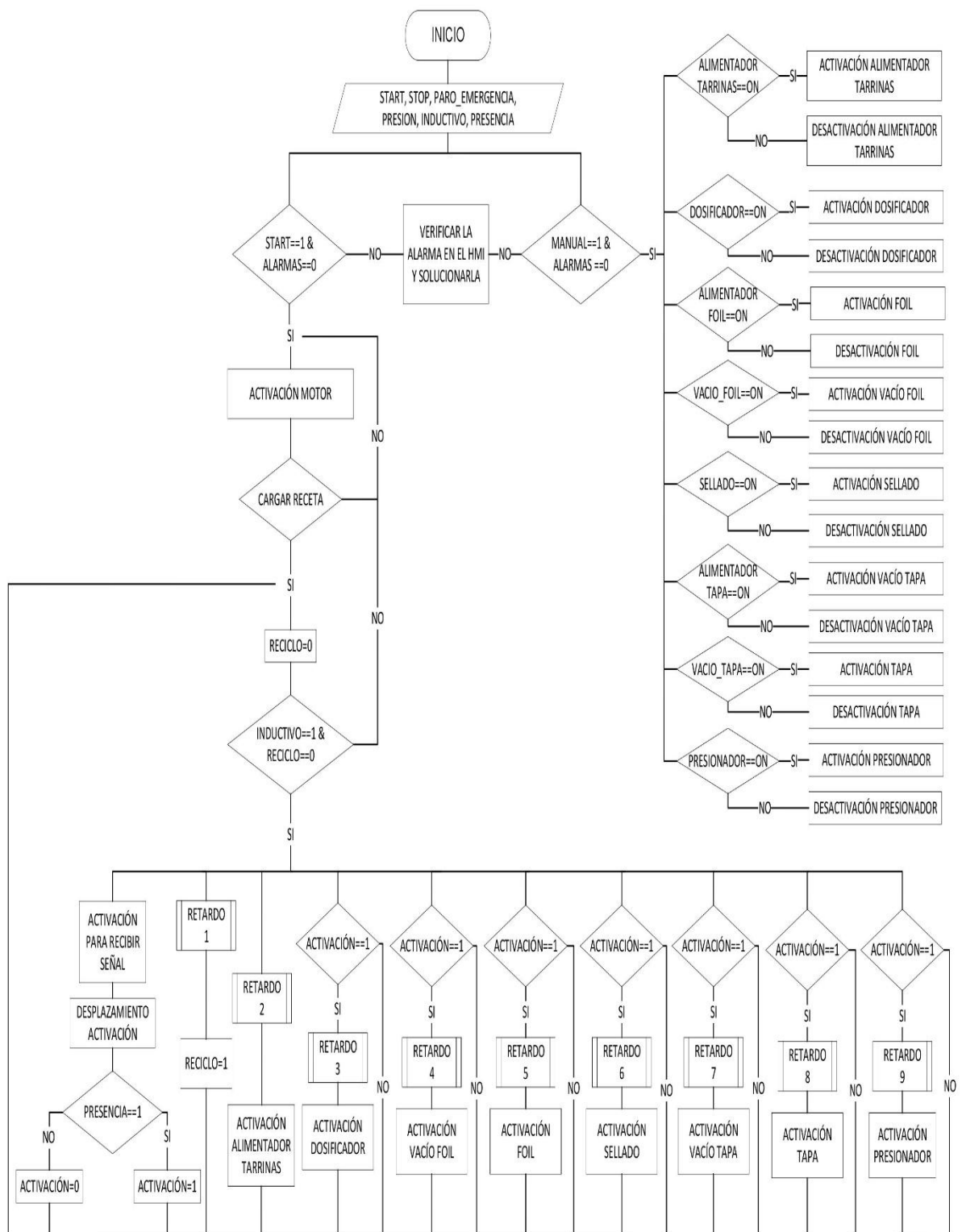


Diagrama de flujo del PLC. Elaborado por: Cortez Samantha

### 3.3.2 Diagrama de flujo del HMI

El diagrama de flujo que realiza el monitoreo de envasado de productos pastosos se observa en la Figura 3.25.

Figura 3. 25 Diagrama de flujo del HMI

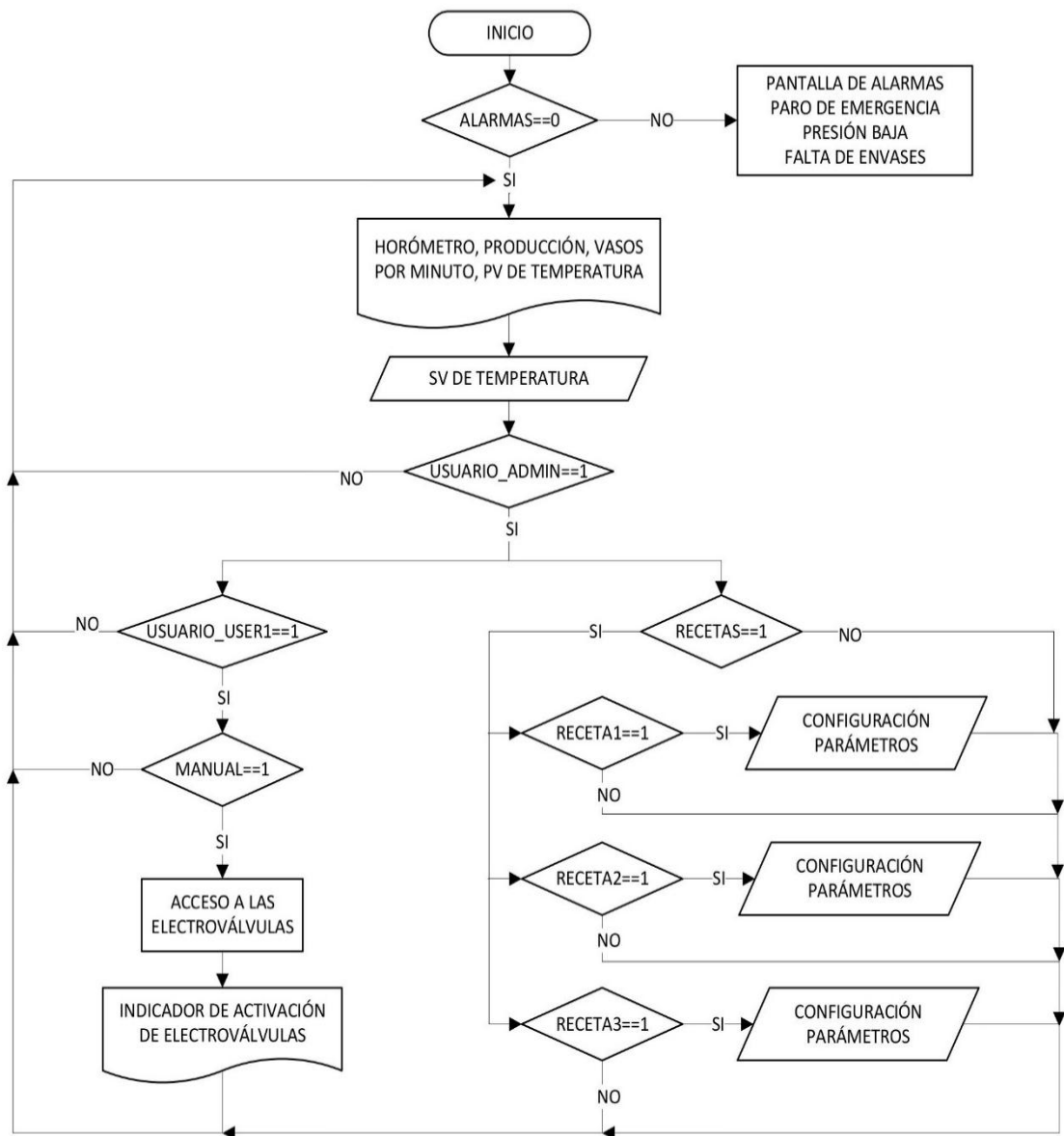


Diagrama de flujo del HMI. Elaborado por: Cortez Samantha

## **CAPÍTULO 4**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

En el presente capítulo se muestra la comparación de los datos obtenidos de tres lotes de producción del proceso actual el cual es realizado manualmente versus el proceso automático que es realizado por la máquina implementada.

#### **4.1 Producción**

El análisis de la producción de envasado de productos pastosos, se realiza en dos presentaciones debido a que la tercera presentación es un producto nuevo en el mercado por ende no se tiene datos de la fabricación de manera manual, únicamente de manera automática, en este se comparó la forma de envasado manual realizado por las operarias versus la forma de envasado automático mediante la máquina.

Los parámetros que se tomaron en consideración son los mismos para las dos formas de producción como son: el lote de producción el cual es la cantidad de envases utilizados, la cantidad de personal, la cantidad de láminas de aluminio utilizadas y el tiempo de producción.

Dentro del análisis se realizó para tres lotes de producción los mismos que fueron utilizados para obtener los datos de producción tanto para el proceso manual como para el proceso automático, tomando en consideración que se requirió el mismo personal para la producción.

#### **4.2 Envase 200 gramos**

En la Tabla 4.1 se muestran los datos obtenidos de tres lotes de producción desde el 4 de marzo del 2019 hasta el 1 de abril del 2019 de forma manual.

Tabla 4. 1 Datos de producción manual durante un mes

| <b>Envase de 200 gramos</b>     | <b>Lote 1</b> | <b>Lote 2</b> | <b>Lote 3</b> |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Cantidad de Envases             | 1000          | 1500          | 2000          |
| Cantidad de láminas de aluminio | 1019          | 1524          | 2033          |
| Personal requerido              | 5             | 5             | 5             |
| Tiempo de producción [min]      | 960           | 1440          | 1980          |

Datos de producción manual durante un mes. Elaborado por: Cortez Samantha.

En la tabla 4.2 se muestran los datos obtenidos de tres lotes de producción desde el 13 de mayo del 2019 hasta el 3 de junio del 2019 de forma automática.

Tabla 4. 2 Datos de producción automática durante un mes

| <b>Envase de 200 gramos</b>     | <b>Lote 1</b> | <b>Lote 2</b> | <b>Lote 3</b> |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Cantidad de Envases             | 1000          | 1500          | 2000          |
| Cantidad de láminas de aluminio | 1024          | 1533          | 2040          |
| Personal requerido              | 5             | 5             | 5             |
| Tiempo de producción [min]      | 45            | 72            | 102           |

Datos de producción automática durante un mes. Elaborado por: Cortez Samantha

### 4.3 Envase 400 gramos

En la Tabla 4.3 se muestran los datos obtenidos de tres lotes de producción desde el 4 de marzo del 2019 hasta el 1 de abril del 2019 de forma manual.

Tabla 4. 3 Datos de producción manual durante un mes

| <b>Envase de 400 gramos</b>     | <b>Lote 1</b> | <b>Lote 2</b> | <b>Lote 3</b> |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Cantidad de Envases             | 1000          | 1500          | 2000          |
| Cantidad de láminas de aluminio | 1015          | 1521          | 2036          |
| Personal requerido              | 5             | 5             | 5             |
| Tiempo de producción [min]      | 2800          | 4200          | 5600          |

Datos de producción manual durante un mes. Elaborado por: Cortez Samantha.

En la Tabla 4.4 se muestran los datos obtenidos de tres lotes de producción desde el 13 de mayo del 2019 hasta el 3 de junio del 2019 de forma automática.

Tabla 4. 4 Datos de producción automática durante un mes

| <b>Envase de 400 gramos</b>     | <b>Lote 1</b> | <b>Lote 2</b> | <b>Lote 3</b> |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Cantidad de Envases             | 1000          | 1500          | 2000          |
| Cantidad de láminas de aluminio | 1012          | 1518          | 2031          |
| Personal requerido              | 5             | 5             | 5             |
| Tiempo de producción [min]      | 43            | 65            | 92            |

Datos de producción automática durante un mes. Elaborado por: Cortez Samantha

#### 4.4 Envase 240 gramos

En la Tabla 4.5 se muestran los datos obtenidos de tres lotes de producción desde el 13 de mayo del 2019 hasta el 3 de junio del 2019 de forma automática.

Tabla 4. 5 Datos de producción automática durante un mes

| Envase de 400 gramos            | Lote 1 | Lote 2 | Lote 3 |
|---------------------------------|--------|--------|--------|
| Cantidad de Envases             | 1000   | 1500   | 2000   |
| Cantidad de láminas de aluminio | 1023   | 1535   | 2044   |
| Personal requerido              | 5      | 5      | 5      |
| Tiempo de producción [min]      | 54     | 82     | 111    |

Datos de producción automática durante un mes. Elaborado por: Cortez Samantha

#### 4.5 Análisis de resultados de producción

Para el análisis de resultados se obtuvo el error de los dos factores utilizados para la toma de datos como es el tiempo de producción el cual se calculó mediante la ecuación 4.1, mientras que para la pérdida de láminas de foil se utilizó la ecuación 4.2.

En la Tabla 4.6, 4.7 y 4.8 se muestran los resultados tabulados para el envase de 200 gramos del lote 1, lote 2 y el lote 3 respectivamente.

$$\varepsilon t\% = \left| \frac{tpm - tpa}{tpm} \right| \times 100\% \quad \text{Ec. (4.1)}$$

$$\varepsilon pp\% = \left| \frac{pfm - pfa}{pfm} \right| \times 100\% \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Tabla 4. 6 Errores porcentuales del envase de 200 gramos del lote 1

|                             | Manual | Automático | Pérdida de láminas de foil [%] | Tiempo de Producción [%] |
|-----------------------------|--------|------------|--------------------------------|--------------------------|
| Láminas de foil Utilizadas  | 1019   | 1024       | 0.49                           |                          |
| Tiempos de Producción [min] | 960    | 45         |                                | 95.31                    |

Cálculo de errores proceso manual vs proceso automático. Elaborado por: Cortez Samantha

Tabla 4. 7 Errores porcentuales del envase de 200 gramos del lote 2

|                             | Manual | Automático | Pérdida de láminas de foil [%] | Tiempo de Producción [%] |
|-----------------------------|--------|------------|--------------------------------|--------------------------|
| Láminas de foil Utilizadas  | 1524   | 1533       | 0.59                           |                          |
| Tiempos de Producción [min] | 1440   | 72         |                                | 95.00                    |

Cálculo de errores proceso manual vs proceso automático. Elaborado por: Cortez Samantha

Tabla 4. 8 Errores porcentuales del envase de 200 gramos del lote 3

|                             | Manual | Automático | Pérdida de láminas de foil [%] | Tiempo de Producción [%] |
|-----------------------------|--------|------------|--------------------------------|--------------------------|
| Láminas de foil Utilizadas  | 2033   | 2040       | 0.34                           |                          |
| Tiempos de Producción [min] | 1980   | 102        |                                | 94.85                    |

Cálculo de errores proceso manual vs proceso automático. Elaborado por: Cortez Samantha

En la Tabla 4.9, 4.10 y 4.11 se muestran los resultados tabulados para el envase de 400 gramos del lote 1, lote 2 y el lote 3 respectivamente.

Tabla 4. 9 Errores porcentuales del envase de 400 gramos del lote 1

|                             | Manual | Automático | Pérdida de láminas de foil [%] | Tiempo de Producción [%] |
|-----------------------------|--------|------------|--------------------------------|--------------------------|
| Láminas de foil Utilizadas  | 1015   | 1012       | 0.29                           |                          |
| Tiempos de Producción [min] | 2800   | 43         |                                | 98.46                    |

Cálculo de errores proceso manual vs proceso automático. Elaborado por: Cortez Samantha

Tabla 4. 10 Errores porcentuales del envase de 400 gramos del lote 2

|                             | Manual | Automático | Pérdida de láminas de foil [%] | Tiempo de Producción [%] |
|-----------------------------|--------|------------|--------------------------------|--------------------------|
| Láminas de foil Utilizadas  | 1521   | 1518       | 0.20                           |                          |
| Tiempos de Producción [min] | 4200   | 65         |                                | 98.45                    |



Cálculo de errores proceso manual vs proceso automático. Elaborado por: Cortez Samantha

Tabla 4. 11 Errores porcentuales del envase de 400 gramos del lote 3

|                             | Manual | Automático | Pérdida de láminas de foil [%] | Tiempo de Producción [%] |
|-----------------------------|--------|------------|--------------------------------|--------------------------|
| Láminas de foil Utilizadas  | 2036   | 2031       | 0.25                           |                          |
| Tiempos de Producción [min] | 5600   | 92         |                                | 98.36                    |

Cálculo de errores proceso manual vs proceso automático. Elaborado por: Cortez Samantha

El error promedio para el envase de 200 gramos se muestra en la Tabla 4.12 y para el envase de 400 gramos se muestra en la Tabla 4.13 mediante la ecuación 4.3.

$$\varepsilon p = \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon T}{n} \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Tabla 4. 12 Errores promedio del envase de 200 gramos

|                             | Manual  | Automático | Pérdida de láminas de foil [%] | Tiempo de Producción [%] |
|-----------------------------|---------|------------|--------------------------------|--------------------------|
| Láminas de foil Utilizadas  | 1525.33 | 1532.33    | 0.459                          |                          |
| Tiempos de Producción [min] | 1460    | 73         |                                | 95.00                    |

Cálculo de errores proceso manual vs proceso automático. Elaborado por: Cortez Samantha

Tabla 4. 13 Errores promedio del envase de 400 gramos

|                             | Manual | Automático | Pérdida de láminas de foil [%] | Tiempo de Producción [%] |
|-----------------------------|--------|------------|--------------------------------|--------------------------|
| Láminas de foil Utilizadas  | 1524   | 1520.33    | 0.241                          |                          |
| Tiempos de Producción [min] | 4200   | 66.67      |                                | 98.41                    |

Cálculo de errores proceso manual vs proceso automático. Elaborado por: Cortez Samantha

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

Se realizó la entrega la máquina envasadora de productos pastosos a la Empresa ASTIMEC, en donde se cumplió con los parámetros solicitados por la empresa como es el uso de un PLC marca Siemens para la automatización, un HMI marca Weintek de 7" para visualización de parámetros de temperatura, unidades producidas, tiempos de accionamiento, retardos, horómetro y menús.

Se realizó la instrumentación de la máquina envasadora de productos pastosos en la parte eléctrica y la parte electrónica, además se caracterizó las variables que intervienen en el proceso de llenado y sellado la cual está conformada por varias partes que son: una mesa indexada la cual se mueve mediante la cruz de malta teniendo ocho estaciones, una estación mecánica el elevador, una estación de sensado, seis estaciones neumáticas: alimentador de envases, dosificador, alimentador de láminas de aluminio, vacío de láminas de aluminio, sellado, alimentador de tapas, vacío de tapas, presionado de tapas, cuenta con una bandeja de salida para el producto.

El software utilizado para la programación del PLC de la marca Siemens de la familia S7-1200 es el Tía Portal V15, en el lenguaje ladder para el control del proceso de envasado, mientras que para la programación del HMI de la marca Weintek modelo MT8071IE para visualizar los parámetros de las recetas y las alarmas del sistema ya sea paro de emergencia, presión baja o falta de envases.

Según los datos obtenidos de tres lotes de producción de 100, 1500 y 2000 en envases de 200 gramos y 400 gramos, se observa una reducción considerable en el tiempo de producción comprobando de esta manera una optimización de los tiempos muertos en la producción de envasado, en donde para envases de 200 gramos se redujo el 95[%] y para envases de 400 gramos el 98.41 [%], además se tiene un pequeño incremento de pérdida de láminas de aluminio para el envase de 200 gramos del 0.46[%] y para envases de 400 gramos el 0.24 [%].

## **5.2 Recomendaciones**

Para iniciar el proceso se debe calibrar el sensor de presencia debido a que debe apuntar al pliegue del envase para cualquier tipo de envase, en donde se debe observar al momento de la detección dos indicadores, la luz roja que es un indicador de operación del sensor y la luz verde significa un indicador de estabilidad para la señal, por lo cual si solo está un indicador puede dar fallos en la señal de activación.

Se recomienda que para un buen manejo de la máquina un operador se mantenga pendiente de la cantidad de láminas de aluminio y de tapas que se encuentren en los respectivos bloques dispensadores debido a que no se cuenta con un sensor para mandar alarma indicando la falta cualquiera de estos productos.

Al terminar el proceso de envasado se recomienda que un operador se encuentre pendiente del producto porque la bandeja de salida es pequeña y puede caerse el envase con una probabilidad muy alta de romperse generando pérdidas en la producción.

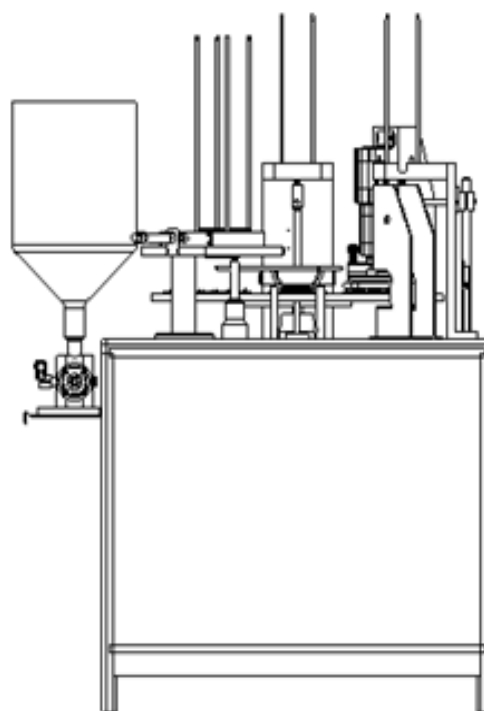
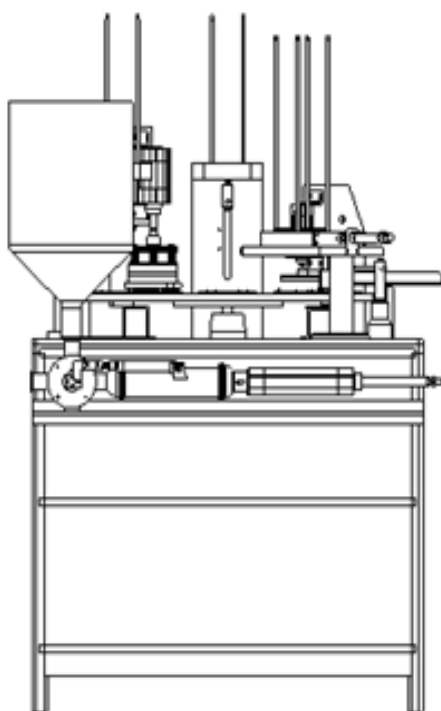
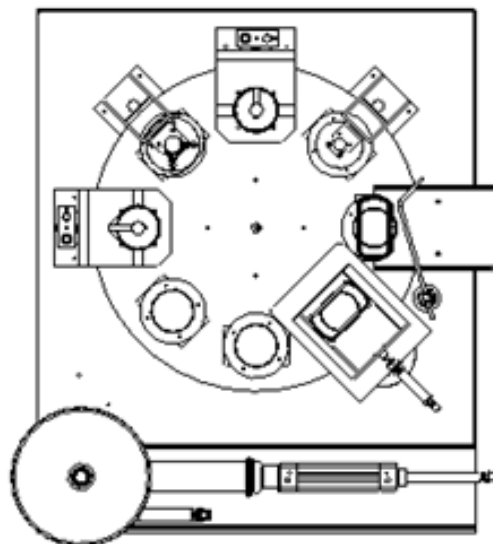
## REFERENCIAS

- Baez G. (Noviembre de 2015). *ISSUU*. Obtenido de [https://issuu.com/gabybaez/docs/unidad\\_1\\_\\_sistemas\\_de\\_producci\\_\\_n\\_p](https://issuu.com/gabybaez/docs/unidad_1__sistemas_de_producci__n_p)
- Cabezas, J. (2014). *Gestión de procesos para mejorar la productividad de la línea de productos para exhibición en la empresa Instruequipos Cía. Ltda.* (Tesis de Pregrado), Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Caiza, G., Saeteros, M., Pillajo, C., & Arévalo, G. (2018). *Development of an IEC-61499 PID Control for Industrial Processes Applications*, ". IEEE Colombian Conference on Communications and Computing (COLCOM), pp. 1-5.
- Castillo, J., & Garcia, M. (2016). *Automatismos Industriales*. Madrid, España: Editex, S. A.
- Chango. P. (2014). *Análisis de los problemas de corrosión en la soldadura de los aceros inoxidables AISI 304L y 316L*. (Tesis de Pregrado), Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Clavijo. P., & M. (2015). *Automatización del proceso de impresión de códigos laminados termotransferibles sobre el papel cartón usado para etiquetado*. (Tesis Pregrado), Quito, Ecuador.
- Cofre, D., & Pérez, M. (2018). *Desarrollo de un sistema de control para la máquina batidora de turrón en la empresa El Salinerito*. (Tesis Pregrado), Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.
- De la Cruz. C. (2016). *Ergonomía y Antropometría*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/10024096/>
- Díaz, J., & Vizcaíno, F. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de entrenamiento en redes industriales utilizando tecnología Siemens*. (Tesis Pregrado), Universidad de las Fuerzas Armadas: Quito, Ecuador.
- Flores, M. (2016). *Diseño e implementación de un sistema automático de control de temperatura de un horno industrial*. (Bachelor's Thesis).
- García, A., & Arjona, F. (2015). Diseño y optimización de plantas de biodiesel llave en mano a partir de aceites usados. En & Z. García J., *Libro de Actas: Congreso Nacional Ingeniería Termodinámica* (pág. 47). Cartagena: CRAI Biblioteca.
- Gutiérrez, M., & Iturralde, S. (2017). *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control*. Ecuador, Santa Elena: UPSE.

- Matango F. (18 de agosto de 2016). *Conceptos básicos protocolo TCP/IP*. Obtenido de <http://www.servervoip.com/blog/tag/protocolos-tcpip/>
- Morales, A., & Pachacama, M. (2018). *Construcción de un sistema automático para el lavado de vehículos con la reutilización de agua para la empresa ECOWASH*. Quito: Repositorio Digital de la UPS.
- National Instruments. (Mayo de 2019). *Información Detallada sobre el Protocolo Modbus*. Obtenido de <http://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/14/the-modbus-protocol-in-depth.html>
- Omega Engineering inc. (2019). *La Importancia de la Instrumentación*. Obtenido de Medición y control de procesos define calidad en la industria: <https://cl.omega.com/prodinfo/instrumentacion.html>
- Ortiz, D., & Zambrano, D. (2017). *Diseño de un sistema de dosificación volumétrica para jabón en polvo*. (Tesis de Pregrado), Fundación Universidad de America, Bogotá D.C.
- Papelmatic. (13 de febrero de 2018). *10 normas básicas para la industria alimentaria*. Obtenido de <https://papelmatic.com/10-normas-basicas-para-la-industria-alimentaria/>
- Paucar, D., & Rojas, G. (2018). *Desarrollo de un sistema de etiquetado de botellas planas para la empresa Liverzam*. (Tesis de Pregrado), Universidad Politécnica Salesiana: Quito, Ecuador.
- Quiroga, O., & Albán, D. (2018). *Desarrollo de un sistema de control para el horno a gas del Laboratorio de Fundición de la UPS*. (Bachelor's thesis).
- Salazar, B. (2016). *Ingeniería Industrial*. Obtenido de Procesos Industriales: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/procesos-industriales/>

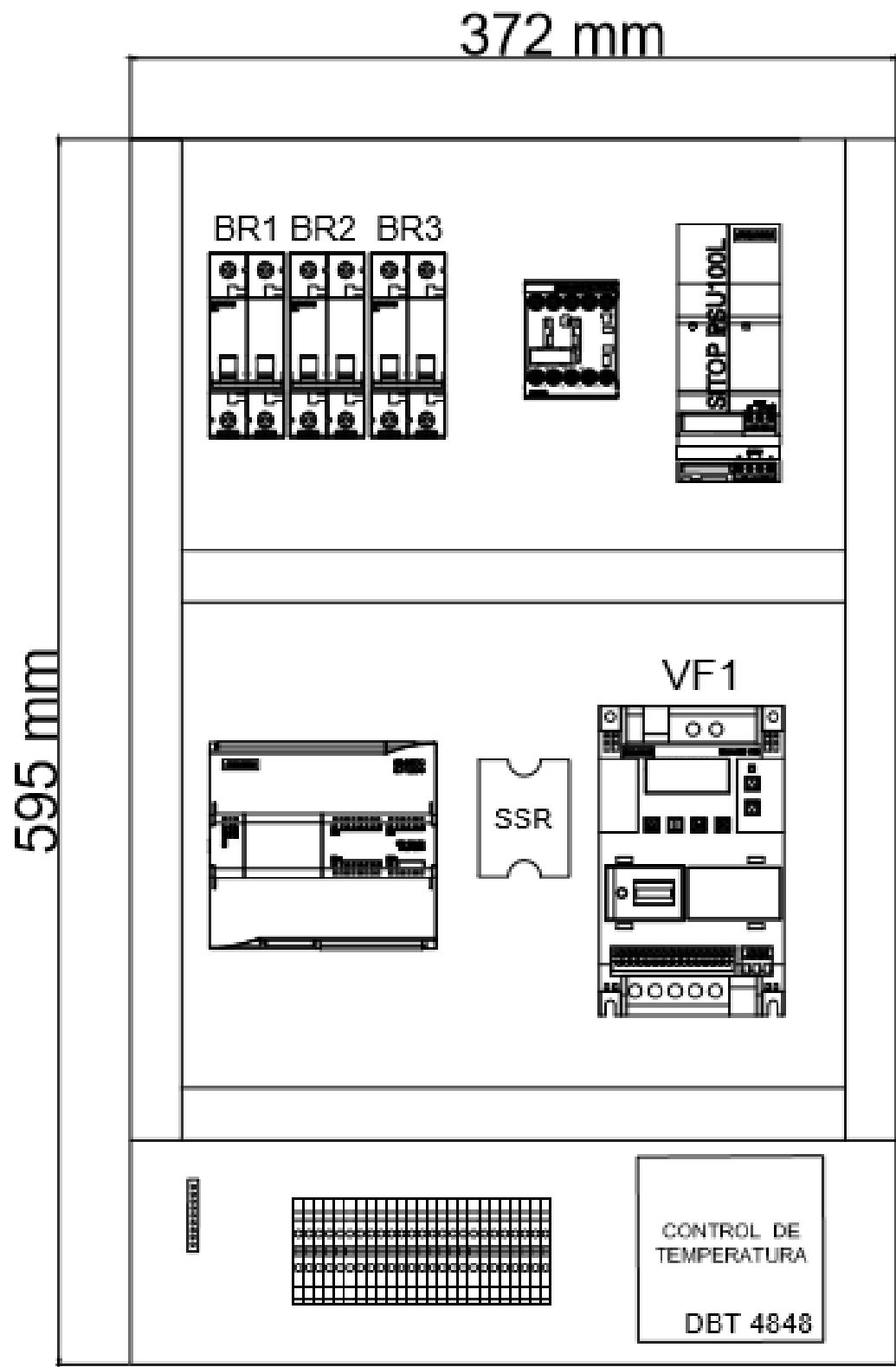
## ANEXOS

### Anexo 1. Vistas Superior, Frontal y Lateral derecha de la máquina



**Fuente:** Empresa Astimec S.A.

**Anexo 2.** Distribución del Tablero de Control



**Elaborado por:** Samantha Cortez

Anexo 3. Entradas y Salidas del PLC

